621 313
В 49

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ШЕСТОЕ ИЗДАНИЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета по профессионально-техническому образованию при Госплане СССР в качестве учебника для профессионально-технических училищ и для индивидуально-бригадного обучения рабочих на производстве

219209



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва 1965

6П2.12
В49

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Книга содержит описание конструкций основных элементов обмоток электрических машин, их схемы, технологию изготовления, а также данные по расчету обмоток.

Значительное внимание в книге уделено вопросам новой техники, нередовой технологии и повышения производительности труда на обмоточных работах в электромашиностроении.

Учебник составлен в соответствии с программой по специальной технологии и предназначен для подготовки в профессионально-технических училищах обмотчиков статоров, роторов и якорей с квалификацией 2-го разряда и для индивидуально-бригадного обучения рабочих в учебной сети промышленных предприятий.

Со всеми замечаниями по книге просим обращаться по адресу: *Москва, И-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

ВВЕДЕНИЕ

Коммунистическая партия Советского Союза на XXII съезде приняла свою третью программу — программу построения коммунистического общества. Главная экономическая задача партии и советского народа состоит в том, чтобы создать материально-техническую базу коммунизма.

Электрификация, являющаяся стержнем строительства экономики коммунистического общества, играет ведущую роль в развитии всех отраслей народного хозяйства. План электрификации страны предусматривает рост количества электростанций, электрических сетей, промышленных предприятий, увеличение электровооруженности труда. Особое внимание уделяется развитию электротехнической промышленности как важнейшей базы электрификации страны.

Электромашиностроение является основной отраслью электротехнической промышленности, изготовляющей генераторы и электродвигатели для различных отраслей народного хозяйства. Электромашиностроительные заводы должны увеличить количество выпускаемых машин и добиться повышения их качества, что достигается разработкой новых серий электрических машин, применением более совершенных материалов и строгим соблюдением установленных технологических процессов (это особенно относится к процессам изолировки, пропитки обмоток и укладки их в пазы).

Обмотка является одной из наиболее важных частей электрической машины. Надежность машин в эксплуатации в основном определяется качеством обмоток, так как в большинстве ремонтируемых электрических машин исправлениям или замене подвергаются их обмотки.

К обмоткам предъявляются требования электрической и механической прочности, нагревостойкости, влагостойкости и др. Эти требования повышаются по мере развития электромашиностроения, увеличения мощности, напряжения машин, допустимой температуры нагрева обмоток.

Обмоточное производство разделяют на две области: изготовление обмоток и укладка их в пазы. Процессы изготовления обмоток отличаются высокой степенью механизации. Укладку обмоток, за исключением роторов и статоров машин малой мощности, производят вручную, применяя простейшие инструменты и приспособления.

Трудоемкость обмоточных работ составляет 20—40% общей трудоемкости изготовления электрических машин; она повышается с увеличением напряжения машины. Трудоемкость обмоточных работ по сравнению с трудоемкостью изготовления остальных деталей электрических машин за последние 20—30 лет выросла в 1,3—1,5 раза. Это объясняется механизацией и автоматизацией изготовления механических деталей и повышением сложности выполнения обмоток.

За тот же период в области обмоточного производства произошли решающие изменения. Переход от однослойных обмоток к двухслойным, замена гильзовой изоляции непрерывной, щипаной слюды слюдинитами, применение кремнийорганической, полиэфирной и других видов изоляции, водноэмульсионных лаков, печатных обмоток, обмоток с полыми проводами, замена ленточной изоляции покрытием обмоток специальными изоляционными составами неузнаваемо изменили производственные процессы и повысили надежность обмоток в эксплуатации.

Дальнейшее совершенствование и развитие обмоточного производства в ближайшие годы должно идти по следующим направлениям:

механизация обмоточных работ путем введения новых более производительных станков и приспособлений;

разработка и внедрение полуавтоматических станков для обмотки роторов и статоров машин малой мощности массового производства;

замена дорогих и дефицитных изоляционных материалов без снижения качества обмоток;

экономия меди в результате большего уточнения размеров намоточных шаблонов и уменьшения длины выводных концов секций;

замена меди алюминием в обмотках;

замена оловянисто-свинцовых припоев твердой пайкой и сваркой;

разработка и внедрение новых изоляционных материалов;

повышение коэффициента заполнения паза проводами за счет уменьшения толщины изоляции;

повышение надежности обмоток в эксплуатации;

разработка и внедрение новых методов контроля обмоток в процессе производства;

освоение обмоток с полыми проводами для непосредственного охлаждения;

освоение и широкое внедрение обмоток с печатными схемами;

механизация и автоматизация процессов пропитки обмоток.

Реализация намеченных мероприятий может быть успешно проведена при совместной работе конструкторов, технологов и передовых обмотчиков — новаторов производства.

Чтобы изготовлять сложные обмотки, которые применяют в современных электрических машинах, надо не только уметь выполнять те или иные производственные процессы, но и знать теорию обмоток, их схемы, изоляцию и назначение. Успешная подготовка молодых рабочих-обмотчиков в значительной степени зависит от освоения курса специальной технологии.

Цель этого, шестого, издания учебника — дать учащимся в доступной форме знания, необходимые для выполнения электрообмоточных работ.

Учебник может быть также использован для индивидуально-бригадного обучения в учебной сети промышленных предприятий рабочих следующих профессий: слесарь по выводам и обмоткам электрических машин, лудильщик-паяльщик обмоток электрических машин, изолировщик, намотчик катушек и секций электрических машин, обмотчик статоров, обмотчик по соединению секций статоров, обмотчик роторов и якорей, бандажировщик, заготовщик изоляции, пропитчик, лакировщик, растяжчик и прессовщик катушек электрических машин.

В связи с этим в настоящем издании учебника расширены главы, касающиеся технологии намотки и изолировки элементов обмоток электрических машин. В соответствии с программой по специальной технологии добавлена глава I «Технология слесарной обработки», расширены разделы, относящиеся к изготовлению и укладке в пазы обмоток крупных электрических машин, турбо- и гидрогенераторов. Ввиду выпуска «Справочника молодого обмотчика» авторов А. С. Кокорева и И. Н. Наумова (издательство «Высшая школа, 1964 г.) из настоящего издания исключены справочные сведения по изоляционным материалам и обмоточным проводам.

ГЛАВА I

ТЕХНОЛОГИЯ СЛЕСАРНОЙ ОБРАБОТКИ

§ 1. СЛЕСАРНЫЕ РАБОТЫ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

Слесарные операции заключаются в обработке и пригонке деталей вручную с помощью простейших инструментов и приспособлений. В течение многих лет слесарные операции не были механизированы, поэтому были очень трудоемки.

Стремление снизить трудоемкость слесарных операций привело к созданию слесарных инструментов, приводимых в движение при помощи механических, пневматических или электрических двигателей. Так появились электрические дрели для сверления отверстий и завертывания винтов, пневматические зубила, станки для правки прутков, механические и пневматические ножницы; паяльники, нагреваемые в пламени, уступили место электрическим; склепывание деталей заменили точечной сваркой; разметку отверстий — сверлением по кондуктору и т. п.

Процессы сборки деталей в отдельные узлы и общую сборку машины также относят к слесарным операциям. Трудоемкость сборочных операций главным образом зависит от качества обработки деталей на станках. Когда обработка и измерение деталей находились на низком техническом уровне, слесарям-сборщикам приходилось затрачивать много труда на пригонку и подбор соединяемых при сборке деталей.

Современное машиностроение обеспечивает *взаимозаменяемость* деталей, при которой каждая деталь из партии может быть пущена в сборку без предварительной пригонки. Это резко повысило качество машин, производительность труда на сборочных работах и позволило организовать при массовом производстве сборочные конвейеры.

Механизация сборочных работ заключается в применении сборочных приспособлений, механических болтовертов, электронагревателей для соединения деталей с натягами неподвижных посадок и т. п.

В производстве электрических машин слесарные операции широко применяют как на сборке, так и при изготовлении механических деталей электрической машины. Немало слесарных операций встречается и в производстве обмоток, особенно из проводов большого сечения. В электромашиностроении также применяют механизированные инструменты для слесарных работ, но вследствие специфических условий этого производства доля ручного труда в нем еще очень велика.

Это объясняется тем, что электрические машины состоят из таких разнородных материалов, как массивные литые и сварные детали, медные провода, разнообразные изоляционные материалы. Магнитные сердечники весом в несколько тонн собирают из тонких штампованных листов, изолированных друг от друга. Поэтому при укладке обмоток в пазы требования взаимозаменяемости не могут быть выполнены и плотность посадки катушек в пазах достигается регулировкой толщины пазовых прокладок.

Многие слесарные операции в электрических машинах существенно отличаются от аналогичных операций в машиностроении. Приведем несколько примеров.

Для зачистки поверхности детали в машиностроении применяют наждачную бумагу; контактные поверхности деталей электрических машин зачищают стеклянной бумагой, так как абразивные зерна наждака резко ухудшают состояние контактов.

При паянии механических деталей в качестве флюса используют соляную кислоту, травленную цинком; при паянии обмоток применять соляную кислоту категорически запрещается, так как пары ее разъедают изоляцию обмоток.

Черные поверхности механических деталей опиливают, чтобы придать им чистоту, которая определяется блеском; наоборот, блестящая поверхность пазов после опиливания показывает, что соседние листы магнитного сердечника замкнуты заусенцами вследствие затупления граней напильника; в таком сердечнике будут увеличенные потери на вихревые токи, и он будет чрезмерно нагреваться.

§ 2. ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА СЛЕСАРЯ

Рабочим местом называется участок цеха или мастерской, отведенный рабочему, со всеми необходимыми для работы инструментами и приспособлениями. Оснащение типового рабочего места слесаря состоит из верстака с тисками, снабженного выдвижными ящиками для инструментов, мелких деталей и технической документации.

Слесарные верстаки делят на многоместные, на которых расположено несколько рабочих мест, и одноместные. Одноместные

верстаки удобнее многоместных тем, что работающие не мешают друг другу при одновременном выполнении точных и грубых операций, легче организовать рабочее место и обеспечить безопасность труда.

Слесарным верстаком (рис. 1) называется стол, состоящий из металлического каркаса и деревянной крышки, которую обивают стальными листами, алюминием, линолеумом или фанерой в зависимости от характера работ. Под крышкой находятся не

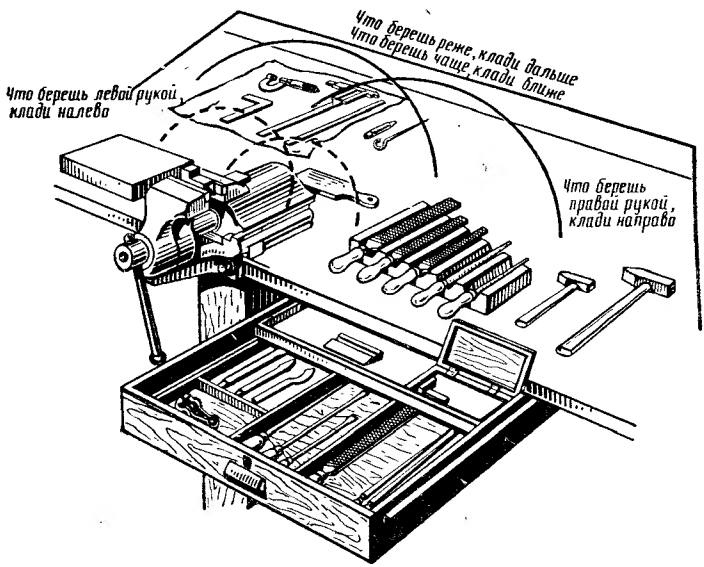


Рис. 1. Слесарный верстак

менее двух выдвижных ящиков с перегородками. Крышку с боков защищают бортиками из листового или углового материала, чтобы мелкие предметы не падали на пол.

Верстаки должны быть прочными и не сдвигаться при выполнении тяжелых слесарных работ. Чтобы предохранить работающих от отлетающих кусков металла при рубке, верстаки защищают экранами из мелкой сетки или органического стекла. Каждый верстак должен быть оборудован лампой местного освещения, розеткой для включения электроинструментов и шлангом от сети сжатого воздуха.

К верстаку крепят тиски, которые разделяют на стуловые и параллельные. В стуловых тисках подвижная часть перемещается радиально и губки тисков параллельны только при одном положении, поэтому в них можно производить только грубые работы. Для более точных работ используют только параллельные

тиски (рис. 1). В них подвижная губка перемещается вследствие вращения ходового винта, который ввинчивается в гайку, закрепленную в неподвижной губке. Для увеличения срока службы к чугунным губкам тисков привинчивают закаленные пластинки из углеродистой инструментальной стали, на поверхности которых сделана насечка. Параллельные тиски бывают неповоротными и поворотными. Для поворота тисков надо освободить болт, который скрепляет их с плитой, привернутой к крышке верстака.

Для повышения производительности труда при выполнении слесарных операций применяют пневматические тиски. В них губки сжимаются не ходовым винтом, а усилием пневматического цилиндра, в который подают сжатый воздух.

Чтобы слесарю было удобно работать, тиски должны находиться на определенной высоте от пола, зависящей от роста рабочего. Положение параллельных тисков проверяют следующим образом: если положить локоть на губки тисков, то концы пальцев поднятой руки должны касаться подбородка. Высоту установки тисков регулируют, подкладывая подставки под ноги работающего или под ножки верстака. В учебной практике применяют верстаки с винтовыми ножками, позволяющие менять их высоту над полом, или регулируемые по высоте тиски специальной конструкции.

Инструменты (молотки, напильники, ключи, зубила, ножовки, чертилки, угольники, пассатижи, паяльники, отвертки, сверла, метчики, плашки), а также измерительные инструменты (линейка, кронциркуль, штангенциркуль, микрометр) слесарь хранит в выдвижных ящиках. Некоторые из этих инструментов постоянно находятся в ящиках верстака, другие слесарь берет в инструментальной кладовой по мере надобности.

В ящиках верстака хранятся также вспомогательные материалы, к которым относят палочки или пластинки припоя, паяльные флюсы, наждачную и стеклянную бумагу, мел, притирочные пасты и др.

§ 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Под организацией труда на рабочем месте подразумеваются следующие мероприятия: подготовка рабочего места, осмотр, проверка, регулировка и смазка оборудования, ознакомление с заданием, проверка материалов и заготовок, подготовка необходимых инструментов и приспособлений, прием рабочего места перед работой и сдача его после работы. При правильной организации рабочего места обеспечиваются высокое качество продукции и высокая производительность труда.

Рабочее место надо всегда содержать в чистоте. На нем должны находиться только те детали, инструменты и материалы, ко-

торые необходимы для данной работы. Их располагают на верстаке в определенном порядке. Инструменты, применяемые часто, кладут ближе, применяемые редко — кладут дальше, но на расстоянии вытянутой руки. Инструменты, которые берут правой рукой, кладут справа, а те, которые берут левой рукой,— слева (рис. 1).

Обрабатываемые детали укладывают на специальных стеллажах правильными рядами, что облегчает их счет и транспортировку. Точные измерительные приборы кладут на деревянные планшеты; хранят их в специальных футлярах, отдельно от слесарных инструментов. После окончания работы все инструменты и верстак должны быть очищены от опилок и грязи.

Перед работой на тисках надо проверить прочность их закрепления на верстаке. При закреплении деталей нельзя ударять по рычагу ходового винта. По окончании работы необходимо очистить тиски волосяной щеткой, а направляющие и резьбовые соединения смазать маслом.

Большое влияние на производительность труда имеет рациональное оснащение рабочего места. Например, если слесарь производит паяние простым паяльником, то значительная часть времени затрачивается им на переноску паяльника от нагревательной печи к месту работы и обратно. При работе электрическим паяльником, которым можно пользоваться непрерывно, производительность труда значительно возрастает. Улучшается также качество работы, так как электрические паяльники обеспечивают неизменный тепловой режим. Наличие на рабочем месте шланга от сети сжатого воздуха позволяет быстро и надежно очистить верстак, инструменты и детали от опилок и пыли. Сжатый воздух особенно необходим для продувки пазов после опиливания, так как даже небольшая металлическая стружка, оставшаяся в пазу, может вызвать пробой изоляции обмотки.

Рационализация приемов работы слесарями-новаторами заключается в том, что они устраняют лишние движения путем группировки отдельных операций и механизации их. Например, если втулка подшипника после заливки баббитом подверглась обработке на станке при помощи развертки, то на ручное шабрение оставляют минимальные припуски и процесс намного ускоряется.

Изменяя порядок операций, слесарь резко сокращает количество вспомогательных приемов, а следовательно, уменьшает затраты вспомогательного времени. Группировка одинаковых приемов приводит к автоматичности движений. Нужный инструмент или материал в процессе выполнения того или иного приема выбирается безошибочно, без всяких задержек на обдумывание или дополнительный осмотр. Спокойная работа сохраняет физические силы слесаря и обеспечивает высокое качество продукции.

§ 4. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Производство разделяют в зависимости от характера на три типа: индивидуальное, серийное и массовое.

Индивидуальное производство характеризуется единичным изготовлением изделий, причем повторное изготовление этих изделий бывает очень редким или совсем отсутствует. При индивидуальном производстве завод оборудуют универсальными станками, которые расстанавливают по однотипным группам. При малых масштабах производства невозможно оборудовать станки приспособлениями, и детали обрабатывают, устанавливая их индивидуально, а линии обработки намечают при разметке каждой поверхности. Измеряют размеры универсальными измерительными инструментами. При этом, конечно, отсутствует взаимозаменяемость и две сопрягаемые детали пригоняют одну к другой.

При работе на универсальных станках нельзя добиться высокой производительности труда, кроме того, требуются квалифицированные рабочие, что неизбежно приводит к повышению стоимости изделий. В современном производстве индивидуальное изготовление деталей и машин встречается редко. Оно имеет место в ремонтных цехах при изготовлении отдельных деталей и в цехах опытных конструкций, выпускающих первые образцы новых машин.

Серийное производство характеризуется повторяющимся изготовлением партии (серии) одинаковых по конструкции и размерам изделий. В зависимости от количества изделий в серии производство бывает мелко-, средне- и крупносерийным. Производство электрических машин чаще всего является среднеили крупносерийным. В электромашиностроении слово серия имеет и другое значение. Серией называют также машины одинаковой конструкции, но разных мощностей. Поэтому следует различать серии машин и серийное производство.

При серийном производстве также применяют универсальные станки, но их располагают по ходу технологического процесса, что сокращает путь детали по цеху и способствует организации поточного производства. Для обработки деталей применяют специальные приспособления, во много раз повышающие производительность труда. Измеряют обрабатываемые детали специальными калибрами и шаблонами, что позволяет обеспечить взаимозаменяемость деталей. Унификация производственных процессов и оснащение производства приспособлениями и инструментами значительно снижают стоимость продукции и повышают ее качество.

Массовое производство характеризуется выпуском большого количества одинаковых изделий, которые изготовляют систематически. При массовом производстве универсальные стан-

ки заменяют агрегатными, приспособленными для обработки одной только детали, а иногда одной операции над этой деталью. Механическая передача деталей от одного станка к другому позволяет организовать автоматические поточные линии; в них роль рабочих сводится лишь к настройке станков и наблюдению за их работой. Контроль размеров также осуществляется автоматами, которые в случае отступления размеров детали от заданных сбрасывают деталь в специальный ящик.

Массовое производство является наиболее совершенным и характеризуется высокой производительностью труда, низкой стоимостью и высоким качеством изделий. В электромашиностроении методами массового производства изготовляют электродвигатели малой мощности.

Процесс изготовления изделий называется производственным процессом. Он включает в себя изготовление заготовок и деталей, сборку из деталей узлов и изделий, контроль качества, отделку и упаковку изделий. Часть производственного процесса, при которой происходит последовательное изменение формы, размеров и свойств заготовок, в результате чего получается готовое изделие, называется технологическим процессом.

Технологический процесс делят на составные элементы (операции, переходы, проходы и установки). Деление процесса на четыре части имеет место только при обработке деталей на металлорежущих станках. Для слесарных и обмоточных работ ограничиваются делением технологического процесса на операции, а каждой операции — на переходы.

Часть технологического процесса, которую рабочий выполняет на одном и том же рабочем месте и одним и тем же видом инструмента, называется *операцией.* Часть операции по обработке одной поверхности, выполняемая рабочим на определенном месте с использованием одних и тех же инструментов и приспособлений, называется *переходом.* Например, опиливание плоскости плитки — это одна операция. Она разделяется на два перехода. Первый — грубое опиливание драчевым напильником, второй — чистовое опиливание личным напильником.

§ 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Всякое изделие до пуска его в производство должно пройти технологическую подготовку производства, которой на заводах занимается отдел главного технолога (сокращенно ОГТ). Технологическая подготовка производства заключается в следующем:

составление маршрутной технологии для деталей и узлов;
разработка карт технологических процессов;
проектирование и изготовление технологической оснастки;
обеспечение технологической оснасткой и освоение ее;
составление норм расхода материала на единицу изделия.

При индивидуальном и мелкосерийном производстве, когда станки в цехах расположены по принципу однотипности, детали совершают сложный путь по цеху и между цехами. В таких случаях маршрутная технология значительно упрощает планирование производства, показывая путь детали в производстве. В качестве примера на рис. 2 показана маршрутная технология вала электрической машины в механическом цехе.

При крупносерийном и массовом производстве нет надобности в маршрутной технологии, так как оборудование располагают по технологической цепочке.

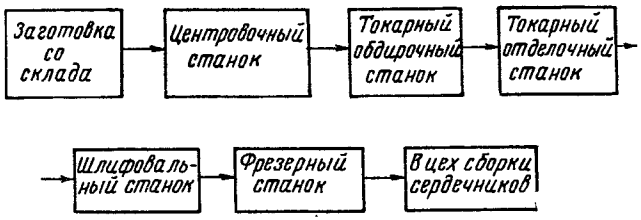


Рис. 2. Маршрутная технология вала электрической машины в механическом цехе

Технологическая карта — это основной документ для выполнения производственных операций. В технологических картах для каждого перехода указывают оборудование, на котором производится работа, инструмент, используемый рабочим, и приспособление для закрепления детали или инструмента при работе. В табл. 1 в качестве примера приведена технологическая карта изготовления сердечника статора асинхронного двигателя.

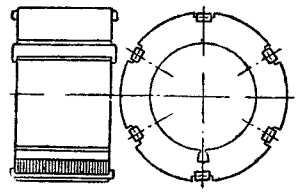
По техчологическим картам производят нормирование трудовых процессов, т. е. определяют время выполнения операции или перехода, устанавливают разряд работы по тарифно-квалификационному справочнику и расценку для оплаты данной работы.

Технологическая оснастка состоит из приспособлений, режущих и измерительных инструментов, необходимых для выполнения технологического процесса. Технологическую оснастку разделяют на стандартную и специальную. Стандартная оснастка изготовляется инструментальными заводами и приобретается отделом инструментального хозяйства. К ней относят сверла, метчики, плашки, фрезы, калибры, развертки, шлифовальные круги, слесарные инструменты, а также универсальные измерительные инструменты — штангенциркули, микрометры, штихмассы и др.

Специальную технологическую оснастку проектирует конструкторское бюро ОГТ и изготовляет инструментальный цех за-

Таблица 1

Технологическая карта изготовления сердечника статора асинхронного двигателя



Операции		Переходы		Оборудование	Инструмент	Приспособление
номер	наименование	номер	наименование			
1	Набрать сердечник	1	Набрать требуемое число листов по весу	Весы	Эталонный сердечник	Оправка для набора листов
		2	Поставить по торцам нажимные шайбы	—	—	То же
		3	Надеть сердечник на оправку	—	—	»
2	Спрессовать сердечник	1	Установить сердечник на плиту пресса	Гидравлический пресс	Шаблон для измерения длины сердечника	Крюки для захвата сердечника
		2	Включить двигатель пресса	То же	То же	То же
		3	Надеть на сердечник скобы	»	»	»
		4	Снять сердечник с пресса	»	»	»
3	Приварнть скобы	1	Приварить скобы к сердечнику и нажимным шайбам	Сварочный аппарат	—	—
		2	Выбить оправку из сердечника	—	—	—

вода. К ней относят приспособления для обработки деталей, штампы, пресс-формы, протяжки для пазов, намоточные шаблоны и др. Чтобы избежать чрезмерно большого количества приспособлений, широко применяют так называемые универсально-наладочные приспособления, на которых можно производить несколько десятков однотипных операций, переставляя упоры в прорезях плиты.

Обеспечение технологической оснасткой зависит от типа производства. Для пробных образцов машин ограничиваются самыми необходимыми приспособлениями, штампами и инструментами, без которых нельзя изготовить детали. Перед пуском машины в серийное производство номенклатуру технологической оснастки значительно расширяют. При переходе к массовому производству технологическая оснастка, приспособленная для одной детали, срастается с конструкцией станка.

Нормы расхода материала устанавливают при технологической подготовке производства. Расход металла во многом зависит от разработки технологии изготовления деталей.

Во всяком производстве есть характерные технологические процессы, которые применяют для всех однотипных машин. В производстве электрических машин к таким процессам относят сборку сердечников, сборку коллекторов, пропитку и сушку обмоток. На такие процессы составляют производственные предписания или инструкционные карты, на которых подробно по пунктам описывают порядок выполнения операций, применяемые материалы, режим работы, контрольные операции, технику безопасности и противопожарные мероприятия.

Всякое производство может нормально функционировать только при неуклонном выполнении всех технологических требований. В практике различных производств известно много случаев, когда отступления от технологических процессов приводили к браку продукции и срыву производства. Это имеет особое значение в производстве обмоток электрических машин, вызывая скрытый брак продукции. Например, недопустимо высокая температура сушки вызовет старение изоляции и машина преждевременно выйдет из строя, хотя при выпуске ее с завода этот дефект не будет обнаружен. Строгое выполнение установленной технологии называется *технологической дисциплиной*. Изменения в технологические процессы вносят только после тщательной проверки новых вариантов технологии.

§ 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ И ПРИПУСКИ

При разработке любого технологического процесса необходимо выбрать базовую поверхность, на которую деталь будут устанавливать при ее обработке. Такие базы называются *установоч-*

ными. Кроме установочных, существуют *измерительные базы*, от которых ведут разметку детали для ее обработки. Если в качестве базовых используют необработанные поверхности детали, то такую базу называют *черновой*; обработанные базовые поверхности называют *чистовыми* базами.

Технологические базы существуют и при слесарных операциях. В качестве примера можно привести сердечник статора, технологическая карта изготовления которого показана в табл. 1. В асинхронных двигателях старых конструкций листы статора набирали в станину, ориентируя их по наружной окружности.

При сборке штампованных листов поверхность сердечника, обращенная к базовой поверхности, получается ровной и гладкой, на противоположной же стороне выступают все неровности. При сборке листов в станину поверхность, обращенная в сторону ротора, получалась шероховатой, поэтому ее необходимо было обрабатывать. Но обработка сердечника связана с опасностью повреждения зубцов статора, а при обработке обмотанного сердечника возможно повреждение изоляции обмотки.

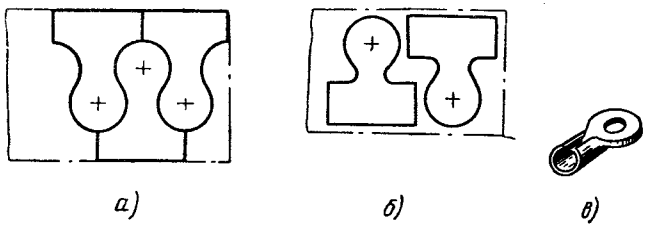
Все эти трудности удалось устранить при новом технологическом процессе (табл. 1), когда базовой поверхностью является внутренняя окружность статора и листы набирают отдельно от станины на цилиндрическую оправку, которую затем удаляют. Благодаря этому отпала необходимость в обработке внутренней поверхности сердечника, снизились потери на вихревые токи, упростился процесс обматывания и пропитки статора отдельно от станины. Все эти преимущества были получены только благодаря изменению базовой поверхности при сборке сердечника.

Технологическим припуском называется заранее предусматриваемый слой металла, снимаемый при обработке. При обработке деталей на металлорежущих станках припуски снимают в виде стружек, при вырезке деталей из листовых материалов из припусков образуются кромки и перемычки между деталями. Задача рациональной технологии заключается в том, чтобы снизить технологические припуски, так как в народном хозяйстве СССР отходы металлов в виде стружек и обрезков составляют ежегодно миллионы тонн.

Особенно большие возможности для снижения отходов металла имеются при штамповке деталей из листового материала, которая широко распространена в производстве электрических машин.

На рис. 3 показаны два способа использования медной полосы при штамповке из нее заготовок кабельных наконечников, надеваемых на выводные концы обмоток. После штамповки оставались большие отходы в виде перемычек между вырубками

(рис. 3, *б*). При небольшом изменении конфигурации детали контур ее в перевернутом виде стал вписываться между двумя другими деталями (рис. 3, *а*). Благодаря этому расход меди уменьшился в полтора раза и упростилась конструкция штампа.



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Штамповка кабельного наконечника:
а — безотходная, *б* — нерациональная, *в* — готовый наконечник

На рис. 3, *в* показан готовый наконечник после выгибания трубки, в которую вставляют и запаивают конец провода. Такой метод штамповки, при котором не остается перемычек между вырубками, называется *безотходной штамповкой.*

§ 7. РАЗМЕТКА

Разметка служит для нанесения линий обработки на поверхностях отливок или на листовом материале. В первом случае разметка называется *пространственной,* так как линии разметки наносят на разных плоскостях, во втором случае — *плоскостной.*

Основным оборудованием рабочего места разметчика является *разметочная плита,* отлитая из чугуна и установленная на фундаменте для разметки тяжелых деталей или на столе. Верхнюю поверхность плиты обрабатывают на строгальных станках и шабрят. Для ориентации при установке массивных деталей на поверхность плиты наносят продольные и поперечные канавки, разделяющие ее на квадраты.

Плита не должна деформироваться под тяжестью устанавливаемых на ней деталей, поэтому на нижней стороне плиты предусмотрены ребра жесткости. Верхняя плоскость плиты должна быть установлена строго горизонтально и выверена по уровню. Поверхность плиты надо оберегать от выбоин и царапин, так как от ее качества зависит точность разметки. Для защиты поверхности плиты размечаемые изделия устанавливают на подкладках различной конструкции.

В качестве разметочного инструмента служат чертилки (стальные иглы), которыми наносят риски на поверхности размечаемой детали, предварительно покрытой меловым раствором

или краской. Концы чертилок закаливают и затачивают в виде иглы. Чем тверже и острее заточено острие чертилки, тем точнее будет разметка. Для нанесения на поверхности детали рисок, параллельных плоскости плиты, служат *рейсмусы,* состоящие из основания и стойки, в которой закреплена чертилка. Для нанесения на деталь окружностей и деления их на части служит *разметочный циркуль.* Чтобы лучше видеть разметочные риски, на них наносят углубления заостренным стальным стержнем, называемым *кернером.*

Перед началом разметки детали очищают от грязи, окалины и формовочной земли металлическими щетками или стальными скребками. Затем тщательно осматривают заготовку. При обнаружении раковин, трещин и других пороков их измеряют, чтобы установить, можно ли их снять при обработке. Затем деталь проверяют по размерам чертежа и устанавливают, достаточны ли припуски на обработку, так как на обработанной поверхности не должно оставаться черноты. Для окраски поверхностей разметки применяют мел, разведенный в воде, раствор медного купороса в воде, спиртовый шеллачный лак с добавкой окрашивающих веществ.

Разметка детали по чертежу занимает много времени. Поэтому для плоскостной разметки деталей, изготовляемых в большом количестве, применяют разметку по шаблону. Шаблон представляет собой стальную пластинку, по форме соответствующую размечаемой детали. Ее накладывают на лист металла и обводят контур чертилкой. Если в детали имеются отверстия, то их размечают кернером через отверстия, просверленные в разметочном шаблоне. При разметке по шаблону экономится много времени, но точность разметки небольшая, поэтому она может быть допущена только для грубой обработки деталей.

Окончив разметку, плиту тщательно обметают щеткой и смазывают маслом, чтобы предохранить от ржавления. Рабочую поверхность разметочной плиты рекомендуется натирать мелким графитовым порошком.

Техника безопасности при разметочных работах заключается в проверке прочности установки плиты на столе и надежности прокладок. После работы на острия чертилок надевают защитные пробки.

В современном производстве разметку применяют только при индивидуальном и мелкосерийном производстве. В крупносерийном производстве разметку отливок заменяют приспособлениями для установки деталей на станках. Для сверления отверстий применяют кондукторы, представляющие собой стальные плиты или коробки с врезанными в них закаленными втулками, через которые пропускают сверла. Разметку листового материала заменяют штамповкой деталей.

§ 8. ПРАВКА

Правкой называется слесарная операция, при помощи которой изогнутой или покоробленной заготовке или детали придают геометрически правильную форму. Править можно только заготовки или детали из пластичных металлов — стали, меди и др. Правке подвергают детали после резки и штамповки, а также прутки и полосы. В первом случае правку производят вручную на плите с помощью молотка, во втором правка механизирована и выполняется путем пропускания прутка или полосы между роликами.

Ручная правка является очень трудоемкой и утомительной операцией, создающей шум в цехе. При ручной правке медных и алюминиевых деталей их защищают от образования выбоин. Для этого боек молотка обтягивают свиной кожей. Широко распространены в электротехнической промышленности молотки для правки, у которых с обоих торцов высверлены отверстия и в них забиты пробки из твердых пород дерева, выступающие над поверхностью бойка. По мере изнашивания пробки могут быть легко заменены. В электромашиностроении правят вручную медные пластины коллекторов после нарезки или штамповки, замыкающие шины, элементы обмоток и другие детали.

Прутки и шины поступают обычно свернутыми в виде бухт. В таком виде их надевают на сматывающее устройство медерезального станка, на котором их режут на заготовки требуемой длины. Современные станки обладают высокой производительностью и работают с большой точностью с отклонениями длины нарезаемых заготовок в пределах ± 1 *мм*. Это позволяет избежать подрезки стержней в готовых обмотках.

На рис. 4 показан медерезальный полуавтомат завода «Динамо». Пруток со смоточного устройства сначала проходит между двумя рядами роликов. Ролики *1,* оси которых горизонтальны, правят пруток в вертикальной плоскости, а ролики *2,* оси которых вертикальны, правят пруток в горизонтальной плоскости.

Станок приводится электродвигателем *3* через шестеренчатый редуктор *4,* который вращает зубчатое колесо *5*. В радиальной прорези этого колеса переставляется палец шатунно-кривошипного механизма *6* в зависимости от длины отрезаемого стержня в пределах от 300 до 800 *мм*. Если требуется резать стержни большей длины, то колесо *5* поворачивается два или более раз.

Конец прутка захватывается зажимом, который укреплен на ползуне *7,* передвигающимся по направляющим станины *8*. В конце хода ползуна пруток освобождается и зажимается губками *9,* расположенными вблизи ножа *10,* который отрубает от бухты меди стержень требуемой длины. Губки *9* зажима приводятся в движение поворотом штанги *11*.

Станок работает полуавтоматически. Рабочий вводит конец прутка в зажим на ползуне, устанавливает палец кривошипного механизма в зависимости от длины нарезаемых стержней и пускает станок в ход. Все остальные операции производятся автоматически, пока не будет использована вся бухта меди.

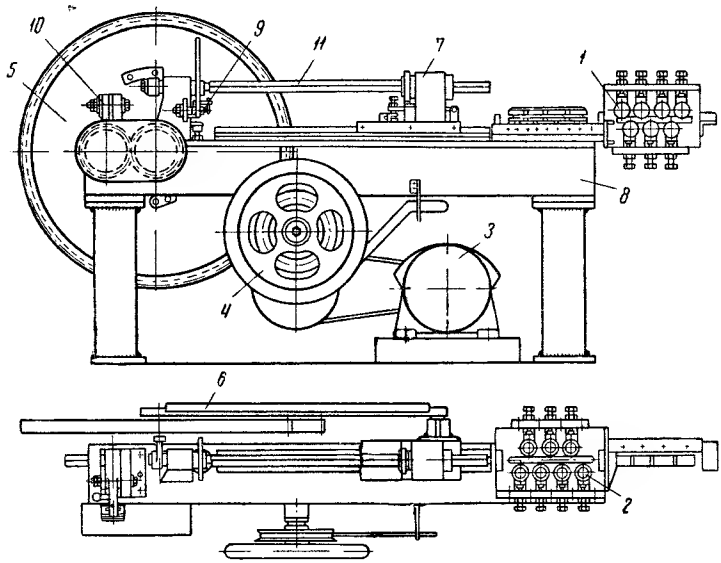


Рис. 4. Медерезальный полуавтомат

Отличительной особенностью этого станка является приводная карусель, на которой располагается бухта меди. Электродвигатель привода препятствует вращению карусели по инерции при замедлении хода. Вследствие этого устраняется набегание меди, ведущее к запутыванию витков.

§ 9. РУБКА

Рубкой называется слесарная операция, при которой с помощью режущего инструмента (зубила или крейцмейселя) и ударного инструмента (молотка) снимается слой металла с детали или полоса разделяется на части. Рубку применяют в индивидуальном производстве, когда станочная обработка трудно выполнима, а также при ремонтных работах. Крупные детали рубят на полу, подложив плиту или наковальню, но чаще всего рубку производят в стуловых тисках.

Слесарное зубило изготовляют из инструментальной стали. Рабочая часть зубила имеет форму клина, заточенного под опре-

деленным углом, который выбирается в зависимости от твердости обрабатываемого металла. Чем тверже металл, тем больше угол заточки. Для рубки твердой стали зубило затачивают под углом 70°, для рубки меди и латуни — 45°.

Крейцмейсель представляет собой зубило с более узкой режущей частью. Им пользуются для прорубания в детали пазов.

Заточку зубил и крейцмейселей производят шлифовальным кругом на заточных станках. При заточке во избежание несчастных случаев надо правильно установить и закрепить подручник станка и опустить экран для защиты глаз от летящих искр. Закалку зубил из инструментальной стали производят при нагреве до температуры 780—800° С с охлаждением в воде или масле.

Слесарный молоток изготовляют из целого куска кованой инструментальной стали марки У7. Молоток имеет отверстие овальной формы для закрепления в нем ручки. На конце молотка находится с одной стороны носок клинообразной формы, а с противоположной стороны — боек круглой или квадратной формы. Для слесарных работ применяют молотки весом 400 и 500 *г*.

Ручки делают из твердых и упругих пород дерева без сучков и трещин. Поверхность ручек должна быть гладкой. Длину ручки выбирают в зависимости от веса молотка и длины руки рабочего. Конец ручки расклинивают деревянным клином, посаженным на столярном клее, или металлическим клином, на котором делают насечки. Ручка должна составлять прямой угол с осью молотка.

Во избежание несчастных случаев надо работать только хорошо насаженным на ручку исправным молотком. Зубила и крейцмейсели должны быть хорошо заточены и не должны иметь выкрошенных мест на головке. При рубке металлов в тисках надо обязательно ставить на верстак предохранительную сетку или деревянный щиток для защиты окружающих от летящих кусков металла.

При производстве обмоточных работ сохранилась ручная рубка зубилом концов секций, выступающих из петушков коллекторных пластин в якорях машин малой мощности. Особенность этой операции заключается в том, что после отрубания провода лезвие зубила лишается опоры и может повредить коллекторную пластину. Поэтому обмотчик должен опираться ребром ладони на поверхность петушков коллекторных пластин.

Нельзя слишком сильно ударять по зубилу, потому что коллекторная пластина может опуститься и при проточке коллектора придется снимать большой слой меди с его поверхности. Для уменьшения необходимой силы удара зубило следует остро заточить. В машинах большой мощности провода прямоугольного сечения, выступающие из петушков коллекторных пластин, сре-

зают фрезой на бандажировочном станке. Зубилом обрубают также концы бандажной проволоки после намотки бандажей.

Рубку зубилом полос или прутков на отдельные куски применяют только в индивидуальном производстве. В серийном производстве эту операцию производят на рычажных механических ножницах, а если линия разделения не прямолинейна, то под штампом на эксцентриковом прессе.

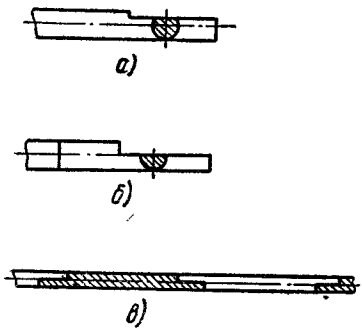


Рис. 5. Изготовление стержней:
а — старый способ, *б* — новый способ, *в* — схема штамповки

На рис. 5 показано изготовление стержней успокоительной обмотки синхронной машины. Раньше эти стержни нарезали ножовкой или рубили зубилом и затем на концах стержней прострагивали плоские лыски для плотного прилегания соединительной дуги к стержням (рис. 5, *а*). Теперь их рубят штампом (рис. 5, *б*) по контуру, заштрихованному на рис. 5, *в*, получая при каждом ходе пресса два готовых стержня с лысками. Экономия меди — 9 *кг* на машину.

§ 10. ГИБКА

В практике слесарного дела часто приходится изгибать полосы, круглые прутки и металл других профилей. Чтобы изготовить изогнутую деталь, надо предварительно отрубить для нее заготовку, а для этого необходимо знать длину распрямленной детали. Ее можно получить, складывая длины отдельных прямолинейных и изогнутых участков. При загибе внешние слои металла вытягиваются, а внутренние укорачиваются, поэтому развернутую длину закруглений определяют по среднему радиусу.

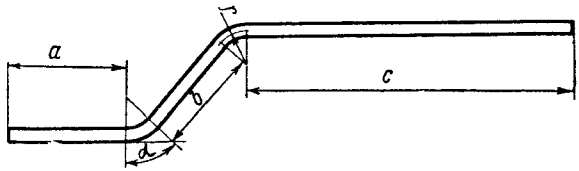


Рис. 6. К расчету развернутой длины стержня

В качестве примера определим развернутую длину стержня обмотки ротора (рис. 6), на котором буквами обозначены его размеры. Длина окружности определяется по формуле $2\pi r$. Два за-

кругления под углом α меньше целой окружности в $\frac{2\alpha}{360}$ раз. Таким образом, развернутая длина двух скругленных участков выражается формулой

$$2\pi r \frac{2\alpha}{360} = 0{,}035\alpha r, \qquad (1)$$

а вся длина стержня равна:

$$a + b + c + 0{,}035\alpha r. \qquad (2)$$

Таким же способом можно определить развернутые длины других деталей.

Гибку стальных полос холодным способом можно производить только при малых сечениях. При толщине свыше 10 *мм* для снижения требуемого усилия и деформаций полос места загиба нагревают при помощи паяльной лампы или газовой горелки.

Трубы гнут между роликами, у которых обод имеет вогнутую форму. Чтобы предохранить трубы от сплющивания в местах загиба, их предварительно набивают песком, а для устранения образования трещин трубу в месте загиба нагревают.

Навивка цилиндрических пружин также относится к процессу гибки пружинной проволоки. Навивку пружин производят вокруг валика, в котором просверлено радиальное сквозное отверстие для ввода в него начала проволоки. Валик вставляют в патрон токарного станка, а проволоку пропускают между зажимными планками, укрепленными на суппорте. Ввиду того, что после навивки диаметр пружины несколько увеличивается вследствие упругости проволоки, диаметр валика должен быть меньше внутреннего диаметра пружины.

В обмоточных работах гибку используют очень широко. Всякая катушка состоит из витков, которые получаются путем гибки медного провода. Намотку многовитковых катушек производят на намоточных станках. Намоточные шаблоны для полюсных катушек имеют форму прямоугольника со скругленными углами, а для обмоток, вкладываемых в пазы, — форму «лодочки». При намотке медный провод плотно прилегает к углам шаблона и отстает от его длинных сторон. Чтобы избавиться от выпучивания витков катушек, в длинных сторонах шаблонов делают углубления и в процессе намотки подколачивают провода молотком через фибровую прокладку.

Стержни одновитковых обмоток гнут слесарными способами в гибочных приспособлениях. Благодаря пластичности меди гибку шин большого сечения выполняют без нагрева, но после изгиба их приходится отжигать для снятия наклепа. Различают гибку шин *плашмя* и *на ребро*. Гибка плашмя выполняется легко, так как шина имеет малое сопротивление изгибу. Гораздо сложнее

согнуть шину на ребро. При этом резко возрастает изгибающее усилие и требуются специальные приспособления.

При загибе на ребро для направления шины в гибочных приспособлениях (рис. 7) делают пазы. Гибку производят относительно шаблона *12*. Шину вставляют до упора *13* в паз, образуемый плитами *4* и *6*, планкой *10* и шаблоном *12*. Ширину паза регулируют передвижением планки *10* путем вращения ходового винта, на квадратный конец которого надевают ключ *5*. Плита *6* прижата к шаблону винтом *7*, на конце которого надет маховик. Для загиба шины вращают по часовой стрелке рычаг *3*, на котором закреплена ось ролика *2*. Ролик опирается на стенку прорези *11* в плитах *4* и *6*. Расстояние между роликом *2* и шаблоном *12* несколько больше самой широкой шины, которую гнут в этом приспособлении.

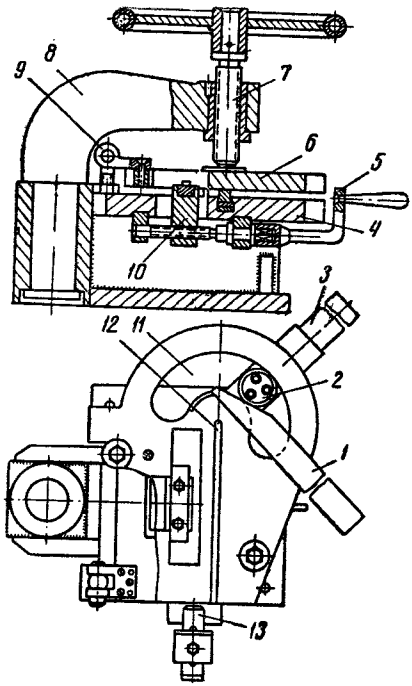


Рис. 7. Приспособление для гибки медиых шин на ребро

Между шиной и роликом вдвигают стальной клин *1*. Чем меньше ширина шины, тем глубже входит клин между шиной и роликом. Благодаря клину шина плотно прижимается к закруглению и к правой прямой стороне шаблона. Для замены шаблона *12* отвинчивают винт *7*, отводят в сторону хобот *8* и откидывают верхнюю плиту *6* на шарнире *9*.

При серийном производстве применяют гибочные приспособления с пневматическим зажимом и механическим приводом от электродвигателя. На таких приспособлениях можно гнуть целый пучок шин, образующих катушку якорной обмотки.

В местах закруглений в сечении меди появляются деформации. Вследствие удлинения волокон на внешней стороне закругления и сжатия их на внутренней стороне прямоугольное сечение шины превращается в трапецеидальное и витки не могут плотно прилегать друг к другу; поэтому высота катушки в местах закруглений увеличивается. После намотки катушку отжигают и прессуют под большим давлением, вкладывая между медными шинами в местах закруглений стальные плитки. Деформации проявляются тем сильнее, чем больше ширина шины и чем меньше ее толщина.

В очень широких и тонких шинах могут образоваться трещины на внешней стороне закругления при загибке на шаблон с малым радиусом закругления. Минимально допустимый внутренний радиус закругления определяют по следующей формуле, проверенной на опыте,

$$R_{\text{мин}} = \frac{0{,}05b^2}{a}, \qquad (3)$$

где b — ширина шины;

a — толщина шины.

Например, для шины сечением 2×30 *мм*^{2} минимальный допустимый радиус закругления

$$R_{\text{мин}} = \frac{0{,}05\cdot30^2}{2} = 22{,}5\ мм.$$

§ 11. РЕЗАНИЕ

Резанием называется разделение целого куска на части. Резание отличается от рубки тем, что в этой операции ударные усилия заменяются нажимными. В зависимости от масштабов производства и толщины разрезаемых материалов резание может производиться вручную или на механических ножницах. Резание газовыми горелками здесь не рассматривается. Особенности резания изоляционных материалов изложены в гл. III.

Для перекусывания стальной мягкой проволоки и медных проводов как одножильных, так и многожильных сечением до 6 *мм*^{2} служат *кусачки*. Они представляют собой ручные щипцы с режущими губками. Для разрезания листового материала применяют ножницы, которые разделяют на ручные, стуловые, рычажные, гильотинные, роликовые и вибрационные.

Ручные ножницы используют для резания листового металла толщиной не более 0,5 *мм*. При разрезании на широкие полосы листовой материал закладывают между лезвиями ножниц и, нажимая всеми пальцами правой руки на ручки ножниц, а левой рукой отжимая часть листа, разрезают его.

Стуловые ножницы отличаются от ручных большими размерами и служат для разрезания листового металла толщиной до 3 *мм*. Одна из ручек их изогнута относительно другой и жестко крепится на столе.

Ручные и стуловые ножницы малопроизводительны, работа на них утомительна, поэтому в серийном производстве их не применяют.

Рычажные, гильотинные, роликовые и *вибрационные ножницы,* которые в обмоточном производстве используют главным образом для резания изоляционных материалов, описаны в гл. III.

В обмоточном производстве после намотки катушки из шинной меди на станке надо отделить последний виток катушки от бухты с проводом. Для этого намоточные станки оборудуют подвесными *пневматическими ножницами* (рис. 8), которыми можно резать медные шины сечением до 200 *мм*^{2}. Режущие пластинки *17* из быстрорежущей стали припаяны твердым припоем к массивным рычагам *1*, которые шарнирно соединены осью *16* с двумя гайками *15* на концах. С другой стороны в рычагах профрезерованы пазы, в которые вставлены ролики *11*, вращающиеся на осях *12*. Между роликами помещен клин *10*, прикрепленный на резьбе к штоку *8* пневматического цилиндра *5*, на задней крышке *6* которого укреплен кран *7* двойного действия.

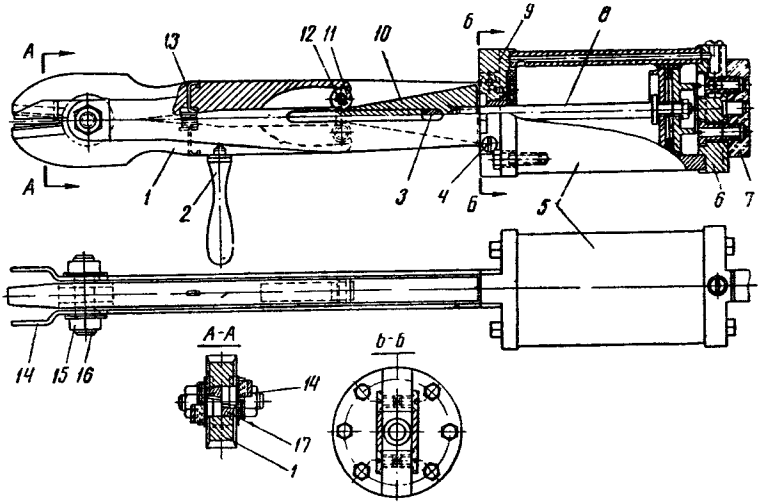


Рис. 8. Подвесные пневматические ножницы

Воздух подводится к цилиндру гибким шлангом. Воздух давит на поршень и перемещает клин *10*, который раздвигает концы рычагов. В это время ножи радиально сближаются и постепенно режут медную шину. При обратном ходе поршня ножи расходятся под действием стягивающей рычаги пружины *13*.

Опорами для оси *16* служат две щеки *14*, привернутые винтами *4* к передней крышке *9* пневматического цилиндра. Для предохранения от перекашивания клина *10* в него врезана шпонка *3*, которая скользит в пазах щек *14*. Концы щек *14* поддерживают шину в процессе резания и не позволяют ей перекашиваться. Ножницы подводят к шине за рукоятку *2*.

Для резания листового, полосового, круглого и профильного металла большого сечения, не поддающегося резанию ножница-

ми, применяют *ножовки*. Ножовка состоит из рамки, ручки и ножовочного полотна, представляющего собой полосу инструментальной стали, на одной стороне которой нарезаны зубья. Чтобы полотно не заклинивалось в прорезаемой щели, зубья ножовки разводят в разные стороны.

Зубья ножовочного полотна имеют только одну режущую грань. Поэтому при закреплении полотна в рамке надо обращать внимание на направление профиля зубьев. Обычно полотно вставляют так, чтобы ход полотна вперед был режущим. Полотно не следует натягивать слишком сильно или, наоборот, слабо, так как в обоих случаях оно может сломаться при работе.

Ножовочные полотна изготовляют с разным шагом зубьев, который характеризуется числом зубьев на каждые 25 *мм* длины полотна. Шаг зубьев выбирают в зависимости от твердости и толщины разрезаемого металла. Чем тверже металл, тем мельче должен быть зуб ножовочного полотна. Чем толще разрезаемое изделие, тем крупнее должны быть зубья.

В случае поломки при работе хотя бы одного зуба работу необходимо прекратить, удалить остатки поломанных зубьев и зашлифовать поврежденное место на заточном станке. Латунь и бронзу следует разрезать только новыми полотнами, так как затупленное полотно будет не резать металл, а скользить по нему.

Резание ручными ножовками в современном машиностроении применяют только при индивидуальном производстве или ремонтных работах. В серийном производстве прутки и полосы большого сечения разрезают на фрезерных и других станках.

Ножовками можно разрезать и трубы, зажав их в тисках между двумя деревянными брусками вогнутой формы, соответствующей размеру трубы. Однако торец трубы получается чище при резании ее труборезами, снабженными режущими роликами. Разрезаемую трубу зажимают в специальном приспособлении или в тисках с рифлеными «сухарями». Труборез устанавливают на трубу и покачиванием рукоятки с одновременным поджатием режущего ролика трубу режут значительно быстрее, чем ножовкой.

При работе ручными и особенно механическими ножницами во избежание несчастных случаев надо соблюдать следующие правила техники безопасности:

следить за тем, чтобы пальцы не попадали под режущие кромки ножей и между рычагами;

при работе на рычажных ножницах придерживать разрезаемый материал только прижимными планками, а не рукой;

работать только исправной ножовкой с правильно закрепленным полотном;

не сдувать стружку с пропиленного места, так как она может попасть в глаза.

§ 12. ОПИЛИВАНИЕ

Опиливанием называется снятие слоя металла с поверхности обрабатываемой заготовки посредством специального режущего инструмента — напильника.

Изготовление деталей путем опиливания встречается только в индивидуальном производстве и при ремонте. В серийном производстве детали обрабатывают на металлорежущих станках. Однако опиливание до сих пор применяют для пригонки деталей при сборке. Слесарь должен хорошо владеть приемами опиливания, так как неправильное опиливание может привести к порче детали. Опиливание подразделяют на черновое, чистовое и отделочное. Обработка напильником позволяет снимать слой металла толщиной в сотые доли миллиметра, что невозможно сделать резцом.

Напильники различают по длине, форме сечения, номеру насечек, роду насечек и материалу. Наиболее ходовые напильники имеют длину от 75 до 500 *мм*. Длина напильника должна быть на 150 *мм* больше длины опиливаемой поверхности. Необходимость применения напильников с разными формами поперечного сечения вызвана большим разнообразием форм обрабатываемых деталей. По форме сечения напильники бывают:

плоские, применяемые для обработки плоских наружных и внутренних поверхностей;

квадратные, применяемые для опиливания стенок квадратных и прямоугольных отверстий и различных пазов;

трехгранные для опиливания внутренних углов;

круглые для опиливания закругленных углублений и отверстий;

полукруглые для опиливания вогнутых поверхностей.

В зависимости от величины зуба и числа зубьев на 1 *см* длины напильники разделяют на следующие виды:

драчевые с 5—13 зубьями на 1 *см* длины, применяемые для грубого опиливания при величине припуска 0,5—1 *мм*;

личные с 13—25 зубьями на 1 *см* длины, применяемые для чистового опиливания, при котором на обрабатываемой поверхности почти не видно следов обработки;

бархатные с 25—80 зубьями на 1 *см* длины, применяемые для самой точной отделки, подгонки и доводки деталей.

Насечка может быть одинарной или двойной. Одинарная насечка наносится под углом 70—80° к оси напильника. Напильники с одинарной насечкой применяют для опиливания мягких металлов (латуни, меди, алюминия), а также для заточки пил, ножей и обработки дерева. Напильники с двойной насечкой служат для опиливания стали и чугуна. Одну насечку делают под углом 55°, а другую — под углом 70—80°. При указанных углах насечки

напильник наиболее эффективно может быть использован при опиливании твердых металлов.

Напильники изготовляют из инструментальных сталей и закаливают. Хвостовики напильников насаживают на деревянные ручки с гладкой поверхностью. Для предохранения от раскалывания на ручку надевают стальное кольцо.

При опиливании необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

запрещается работать напильниками без ручек или с треснувшими ручками;

при опиливании предметов с острыми кромками нельзя поджимать пальцы левой руки под напильник при обратном ходе его;

нельзя сметать опилки руками; сдувать опилки надо при помощи сжатого воздуха;

обрабатываемые детали следует надежно закреплять в тисках.

Характерным примером опиливания в электромашиностроении является опиливание пазов сердечников перед укладкой в них катушек обмотки. Эту операцию приходится производить, так как шероховатости на стенках пазов могут привести к повреждению изоляции и пробою обмотки на корпус. Опиливание пазов отличается от опиливания сплошных кусков металла тем, что сердечники состоят из многих листов стали толщиной 0,5 *мм,* имеющей примесь кремния. Вследствие этого напильники быстро затупляются и не срезают стружку с листов, а только загибают заусенцы, вызывая замыкания между листами. Это подтверждается тем, что магнитные потери в сердечниках электрических машин значительно выше, чем в образцах электротехнической стали данной марки. Форма и размеры пазов заставляют применять тонкие длинные напильники, которые при работе гнутся и не обеспечивают равномерный съем стружки по длине паза. Опиливание пазов вручную является очень трудоемкой и утомительной операцией.

Значительное повышение производительности труда при опиливании пазов и улучшение качества работы достигается при применении протяжных станков (рис. 9). Станок снабжен механизмом закрепления протяжки и приспособлением *1* для установки ротора *2*. Он приводится в действие электродвигателем, который через редуктор вращает шестизаходный винт, сообщающий гайке поступательное движение по направляющим станины. С гайкой механически связана оправка *5,* в которой шарнирно закреплен хвостовик протяжки *3*. Чтобы не отгибались зубцы сердечника, к торцу ротора подводят подвижной регулируемый упор *4*, который воспринимает усилие резания.

Протяжка представляет собой клинообразный стержень, форма и размеры которого соответствуют пазу. На ней имеются ре-

жущие зубья. Последние четыре зуба являются калибрующими. Протяжку вводят в паз узким концом, и станок протаскивает ее через всю длину паза, снимая все неровности и шероховатости.

При открытой форме паза после обработки одного паза протяжку откидывают на шарнире, дают станку обратный ход, а ротор в это время поворачивают на одно пазовое деление. Затем вводят протяжку в следующий паз и продолжают процесс. При

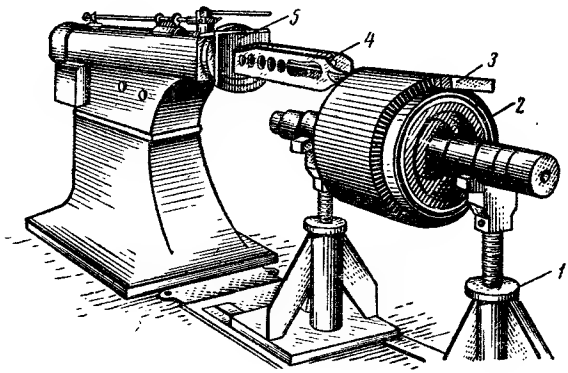


Рис. 9. Протяжной станок для пазов

закрытой форме паза приходится каждый раз расцеплять соединение оправки с протяжкой, вставлять ее с торца ротора и снова соединять протяжку с оправкой станка. Поэтому производительность станка снижается.

§ 13. КЛЕПКА

Клепкой называется механическое соединение деталей заклепками. В электрических машинах заклепками соединяют шихтованные полюса, вентиляторы, щеткодержатели, переходы шинных катушек из слоя в слой и другие детали. Заклепка представляет собой цилиндрический стержень с полукруглой головкой. Вторую головку получают расклепыванием выступающего конца стержня заклепки в специальных стальных обжимках. При склепывании детали должны быть плотно прижаты.

Заклепки с потайными головками расклепывают в конических углублениях в склепываемых деталях. При диаметрах заклепок более 8 *мм* их перед расклепыванием нагревают, и клепку производят пневматическими инструментами. В электромашиностроении применяют лишь тонкие заклепки, а в обмотках — медные заклепки, поэтому клепку производят в холодном виде.

В щеткодержателях и вентиляторах приходится соединять детали, плоскости которых перпендикулярны друг другу. В таких случаях вместо заклепок выштамповывают выступы в одной детали и отверстия прямоугольной формы — в другой. Соединение производят расклепыванием выступов.

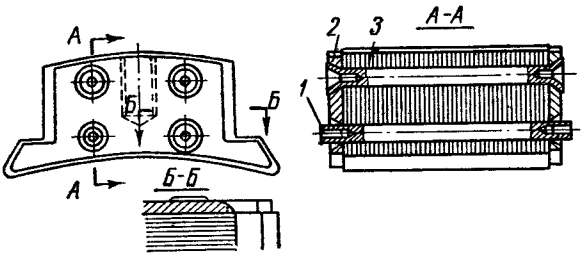


Рис. 10. Клепка полюса машины постоянного тока

Для скрепления листов главных полюсов машин постоянного тока применяют стержни *1* с засверленными концами (рис. 10). Листы *3* полюса сдавливают под прессом, а концы стержней развальцовывают стальными кернами. Для этого в боковинах *2* полюсов просверлены конические отверстия. Склепывание деталей вентилятора и щеткодержателя также производят под прессом в специальных штампах. За один ход пресса получают готовую склепанную деталь.

В последнее время клепаные соединения в электрических машинах заменяют сваркой, поэтому они имеют ограниченное применение.

ГЛАВА II

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

§ 14. ЗАДАЧИ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Советское трудовое законодательство является самым передовым, и нигде в мире не проявляется столько заботы о трудящихся, как в Советском Союзе. На советских предприятиях ведут планомерную работу по предупреждению несчастных случаев на производстве, для чего разрабатывают общие и специальные мероприятия по технике безопасности.

Под техникой безопасности понимают комплекс мероприятий, направленных на создание здоровых, рациональных и безопасных условий труда. Ни один рабочий не допускается к работе, прежде чем не изучит правил техники безопасности. Меры по технике безопасности для различных участков предприятия имеют свои особенности и предусматриваются специальными инструкциями. Однако не все особенности условий работы могут быть предусмотрены инструкциями, поэтому перед началом новой работы рабочий должен внимательно выслушать дополнительные указания мастера или другого инструктирующего его лица.

В цехах предприятия возможны следующие несчастные случаи: попадание под цеховой транспорт, захват одежды движущимися частями и механизмами оборудования, ожоги горячим металлом или лучами, поражение электрическим током и др. Чтобы этого не случилось, должны быть приняты следующие меры предосторожности:

ограждены вращающиеся передаточные механизмы станков;

защищены от случайного прикосновения к ним все части машин и аппаратов, находящиеся под напряжением;

заземлены соответствующие металлические части электрических машин, трансформаторов и аппаратов;

запрещен пуск в ход станков лицами, не работающими на них;

предупреждены все рабочие о вредном действии, оказываемом на зрение электрической дугой.

Находясь в цехах предприятия, следует быть внимательным, слушать сигналы, подаваемые водителями цехового транспорта, и уступать дорогу транспорту. Нельзя заходить за ограждения движущихся и токоведущих частей. Надо остерегаться прикосновения к оголенным частям проводки во избежание поражения электрическим током.

§ 15. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ОБМОТОЧНЫХ ЦЕХАХ

Обмоточные цехи состоят из различных участков, на которых производят такие операции, как намотку катушек, гибку стержней, изолировку обмоток, сушку и пропитку, укладку обмоток в пазы, паяние, бандажировку, отделку якорей и электрические испытания. На каждом из этих участков имеются свои специфические опасности и соответствующие правила техники безопасности.

При работе на станках:

к самостоятельной работе на станках допускают только обученных рабочих, получивших соответствующую квалификацию;

вращающиеся части станков (зубчатые колеса, шкивы) ограждают специальными щитами, кожухами или решетками;

у работающих на станках женщин голова должна быть повязана косынкой так, чтобы волосы не могли попасть во вращающиеся части станка;

рукава необходимо плотно завязывать тесемками у кисти руки;

при намотке катушек и бандажей надо остерегаться, чтобы пальцы не попали под наматываемую проволоку;

при работе на быстроходных намоточных станках следует пользоваться защитным стеклом или предохранительными очками, так как при обрыве провода конец его может повредить глаза;

при бандажировке надо прочно установить ротор в центрах и надежно запереть заднюю бабку станка, так как сильное натяжение бандажной проволоки может вырвать ротор из центров и сбросить его на ноги работающему;

при работе на изолировочных станках следует остерегаться попадания рук в зону вращающейся изолировочной головки;

проточку и продораживание коллектора необходимо выполнять в защитных очках, чтобы защитить глаза от попадания в них медных стружек.

На слесарном участке:

верстачные тиски должны быть установлены так, чтобы рабочий мог занимать правильное положение во время работы;

надо пользоваться только исправными инструментами;

при заточке инструментов на точильном камне необходимо пользоваться защитным стеклом или очками, чтобы предохранить глаза от летящих искр;

при работе на рычажных ножницах следует пользоваться прижимной планкой, а не поддерживать разрезаемый материал рукой;

при составлении оловянно-свинцовых припоев надо выполнять все требования промышленной санитарии, так как пары свинца являются сильными ядами;

при работе на эксцентриковых прессах нельзя подносить руки близко к движущимся деталям штампа; для вкладывания под штамп заготовки или деталей необходимо пользоваться соответствующими инструментами;

помещение, в котором производят паяние, должно иметь вытяжную вентиляцию (общую или местную) для удаления выделяющихся при паянии газов;

при пользовании электродуговым паяльником надо надевать очки с цветными стеклами для предохранения глаз от светового действия электрической дуги;

при пользовании механизмами с пневматическим приводом следует остерегаться попадания пальцев в зону действия зажимных устройств.

На обмоточных участках:

стропление и подъем обматываемых сердечников должны производиться рабочими, имеющими соответствующую квалификацию;

запрещается стоять под поднимаемыми и висящими грузами;

при подъеме грузов не допускается быстрый отрыв их от пола и волочение по полу;

разрешается пользоваться только проверенными грузоподъемными механизмами и устройствами;

до начала подъема груза надо убедиться, что его вес не превышает грузоподъемности механизма;

при укладке обмоток в пазы следует правильно держать рабочие инструменты;

при резке изоляции ножом необходимо остерегаться поранить руку;

роликовые опоры, на которые устанавливают роторы при обмотке, должны легко вращаться; оси их надо смазывать;

в случае применения бензиновых ламп должны быть приняты меры предосторожности против случайных вспышек бензина;

при паянии следует остерегаться ожога рук;

при обмотке крупных машин, когда обмотчик работает внутри сердечника, необходимо пользоваться лампами местного освещения напряжением 12—24 *в*. При пользовании электроинструментами надо проявлять особую осторожность, так как опас-

ность поражения электрическим током при этом значительно повышается;

при пользовании ваннами для паяния якорей и роторов необходимо следить за тем, чтобы брызгами расплавленного припоя не вызвать ожога рук и лица.

На пропиточных участках:

смешивать и растворять лаки надо с точным соблюдением инструкций;

работники пропиточной мастерской должны соблюдать правила гигиены, предписанные при обращении с едкими растворителями;

мыть руки следует горячей водой с мылом, а не бензином, от которого кожа рук обезжиривается и становится восприимчивой к различным кожным заболеваниям.

§ 16. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, вызывает судорожное сокращение мышц, поэтому надо принять меры для освобождения пострадавшего от провода. Прежде всего необходимо быстро отключить ту часть установки, которой касается пострадавший. Если это нельзя сделать быстро, следует отделить пострадавшего от токоведущих частей.

При напряжении ниже 1000 *в* можно оторвать пострадавшего от токоведущих частей, взявшись за его одежду, если она сухая и отстает от тела. Когда необходимо коснуться руками тела пострадавшего, надо надеть диэлектрические перчатки или обернуть руку в сухую ткань и надеть галоши. Если не удается оторвать пострадавшего от провода, следует прервать цепь тока, отделив пострадавшего от земли (положив под него сухую доску или резиновый коврик).

Чтобы отделить пострадавшего от земли или от токоведущих частей при напряжении свыше 1000 *в,* надо надеть перчатки, галоши и действовать штангой, рассчитанной на соответствующее напряжение. Если пострадавший находится на высоте, следует обезопасить его падение.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего после освобождения его от действия тока.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обморочном состоянии, ему необходимо обеспечить полный покой до прибытия врача или доставить его в медицинский пункт.

Если пострадавший без сознания, но дышит, его следует уложить удобно, ровно, покойно, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, давать нюхать нашатарный спирт, обрызгивать водой, растирать и согревать тело.

При отсутствии признаков жизни (дыхания, сердцебиения, пульса) пострадавшего все же нельзя считать мертвым, так как смерть часто бывает кажущейся. В таком состоянии пораженному угрожает смерть, если ему не делать непрерывно до прибытия врача искусственное дыхание. При оживлении мнимоумершего дорога каждая секунда, поэтому первую помощь надо оказывать немедленно, на месте происшествия. Переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда опасность продолжает угрожать пострадавшему или оказывающему помощь или когда невозможно оказать помощь на месте. Во всех случаях констатировать смерть должен врач.

Для оказания первой помощи надо обладать определенными навыками. Поэтому весь персонал, обслуживающий электроустановки, следует периодически инструктировать об опасности поражения током и мерах оказания первой помощи, практически обучать приемам освобождения пострадавшего от тока и способам искусственного дыхания.

ГЛАВА III

ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК

§ 17. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБМОТОК

Все обмотки электрических машин состоят из катушек. *Катушкой* называют комплект проводов, которому придана соответствующая форма для укладки в пазы сердечника. Катушки разделяют на *мягкие,* намотанные из круглого провода, и *жесткие* — из прямоугольного провода. Обмотки, состоящие из полувитков (стержней), называются *стержневыми.*

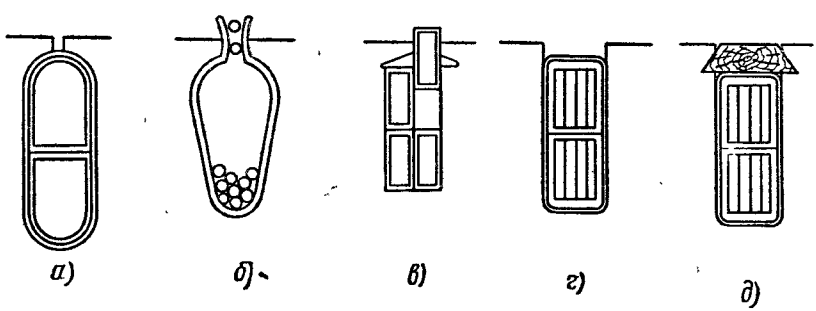


Рис. 11. Формы пазов:
а — закрытый, *б* — полузакрытый, *в* — полуоткрытый, *г* — открытый с бандажом, *д* — открытый с клином

С точки зрения технологии изготовления основными факторами для классификации обмоток являются число витков и сечение провода. Технология изготовления одновитковых и многовитковых обмоток совершенно различна и по производственным операциям, и по оборудованию.

Способы укладки обмоток в пазы зависят от формы паза. Пазы электрических машин имеют одну из следующих форм (рис. 11):

закрытый паз, в который провода вставляют с торца сердечника (рис. 11, *а*);

полузакрытый паз, в который провода катушки всыпают по одному через узкую прорезь паза (рис. 11, *б*);

полуоткрытый паз, в который вкладывают жесткие катушки, разделенные в каждом слое на две (рис. 11, *в*);

открытый паз, в который вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах якоря проволочными бандажами (рис. 11, *г*);

открытый паз, в который вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах якоря или статора клиньями из дерева или иного изоляционного материала (рис. 11, *д*).

Обмотки, в которых сторона катушки занимает весь паз, называются *однослойными,* а обмотки, лежащие в пазах в два слоя,—*двухслойными.*

§ 18. ВИТКОВАЯ И КОРПУСНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Все провода обмотки должны быть изолированы друг от друга и от корпуса машины. В низковольтных электрических машинах роль м е ж д у в и т к о в о й и з о л я ц и и играет изоляция самого провода. Толщина изоляции провода имеет важное значение, особенно в многовитковых обмотках. Это можно показать на следующем примере. При диаметре голого провода 1 *мм* двухсторонняя толщина изоляции провода ПБД составляет 0,27 *мм,* а провода ПЭВ2— 0,1 *мм.* Диаметры изолированных проводов получим, прибавляя к диаметру голого провода двухстороннюю толщину изоляции. Следовательно, диаметр изолированного провода ПБД будет 1,27 *мм,* а провода ПЭВ2 — 1,1 *мм.*

При укладке всыпных обмоток в пазы рассчитывают коэффициент заполнения паза (k) по следующей формуле:

$$k = \frac{nd^2}{F}, \qquad (4)$$

где n — число проводов в пазу;

d — диаметр изолированного провода, *мм*;

F — площадь паза за вычетом площади пазовой изоляции и деревянного клина, *мм*^{2}.

Пользуясь этой формулой, можно установить, что в паз с площадью 285 *мм*^{2} при коэффициенте заполнения паза 0,7 и диаметре голого провода 1 *мм* можно уложить 124 провода ПБД или 165 проводов ПЭВ2. Расчетная мощность машины примерно пропорциональна общему сечению проводов в пазу. Таким образом, чем тоньше изоляция провода, тем больше проводов будет в пазах и тем бо́льшую мощность имеет машина.

В обмотках из голых проводов, а также в высоковольтных машинах для создания или усиления междувитковой изоляции каждый провод обматывают изоляционными материалами.

Конструкция корпусной изоляции зависит от формы паза и от напряжения обмотки. Для всыпных обмоток (рис. 11, *б*) корпусная изоляция состоит из нескольких слоев изоляционных материалов, образующих пазовую гильзу.

В стержневых обмотках ротора, вкладываемых в паз с торца сердечника (рис. 11, *а*), пазовую часть стержня обертывают несколькими слоями изоляционного материала. Ширина полосы материала равна длине изолируемой части стержня, а длина полосы равна периметру сечения стержня, умноженному на число слоев изоляции. Такая изоляция носит название гильзовой.

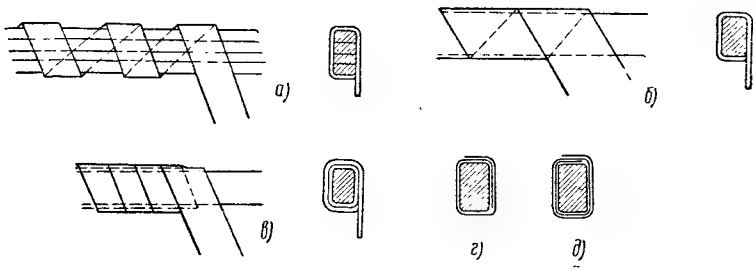


Рис. 12. Способы изолировки:
а — вразбежку, *б* — в стык, *в* — в нахлестку, *г* — в 1½ оборота, *д* — в 2¼ оборота

В статорных и якорных обмотках для образования корпусной изоляции катушки или стержни оплетают по всей длине несколькими слоями изоляционной ленты. Такая изоляция носит название непрерывной (рис. 11, *в, г, д*). Для защиты корпусной изоляции в пазы вкладывают гильзы из одного слоя электрокартона в форме коробочки, верхний конец которой после укладки обмотки загибают внутрь паза.

Обматывание лентой можно выполнить с разной степенью перекрытия слоев ленты, зависящей от угла наклона ленты по отношению к изолируемому участку. Число слоев ленты определяется нормалями и зависит от напряжения машины и условий ее работы.

Обматывание лентой *вразбежку* (рис. 12, *а*) не создает изоляционного слоя, поэтому может применяться только для стягивания витков катушки или удерживания ранее намотанных слоев изоляции.

Обматывание лентой *в стык* (рис. 12, *б*) также не создает непрерывного слоя изоляции, так как в местах стыков могут быть оголенные участки катушки. Поэтому изолировку лентой в стык используют для защиты лежащих под ней слоев изоляции.

При обматывании лентой *в нахлестку* (рис. 12, *в*) создается основная изоляция стержня или катушки. Обматывание лентой в нахлестку производят вперекрышку предыдущего витка ленты

на $^1/_3$, $^1/_2$ или $^2/_3$ ширины ленты. Чаще всего применяют перекрытие на $^1/_2$ ширины ленты. При этом действительная толщина изоляции получается вдвое больше расчетной. Например, если по расчету на пробой необходимо два слоя ленты, то обходят контур катушки при изолировке два раза в нахлестку и с каждой стороны катушки получают четыре слоя изоляционной ленты.

Когда обертывают полосой изоляционного материала, ширина которой равна длине изолируемого участка, то общая толщина изоляции получается меньше, чем при изолировке лентой. Например, если по расчету достаточно одного слоя изоляции, то принимают перекрышку по двум сторонам сечения (рис. 12, *г*), чтобы закрепить начало полосы. При большем числе слоев можно ограничиться перекрышкой по одной стороне сечения, которая не сказывается на ширине паза (рис. 12, *д*).

Обертывание широкой полосой изоляционного материала значительно производительнее, чем лентой, особенно при механизированной заготовке изоляции. Но изолировать широкой полосой можно только прямолинейные участки, поэтому изолировка лентой лобовых частей обмоток сохраняется во всех электрических машинах.

Кроме витковой и корпусной изоляции катушек, в обмотках применяют целый ряд дополнительных изоляционных прокладок. К ним относятся прокладки на дно паза, между слоями обмоток, изоляция под проволочные бандажи, изоляция между слоями лобовых частей, изоляция обмоткодержателей. Эти прокладки в машинах с изоляцией класса А выполняют из электрокартона, лакоткани и изоляционных пленок, а в машинах с изоляцией классов В, F, Н — из стеклолакоткани, микафолия, гибкого миканита, слюдинитофолия и др.

При выполнении обмоточных работ приходится не только наносить изоляцию на провода, но и снимать ее в местах соединений. При использовании проводов с высокопрочной эмалевой изоляцией это довольно трудно. Обычно для этой цели служат специальные станки, в которые вставляют концы проводов и изоляция снимается с них вращающимися проволочными щетками. Для удаления пыли станки оборудуют вытяжной вентиляцией.

§ 19. РЕЗАНИЕ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Заготовка изоляционных деталей обычно производится на заготовительных участках, откуда эти детали в скомплектованном виде поступают в цех укладки обмоток в пазы. Наличие заготовительного участка способствует лучшему использованию оборудования, более экономному раскрою листовых изоляционных материалов и более точному учету расхода материалов на единицу изделия. В обмоточных цехах освобождение обмотчиков от вспо-

могательных операций ведет к значительному повышению производительности труда на основных операциях.

Раскрой изоляционных материалов на специальных участках обеспечивает:

высокую производительность труда в результате того, что прокладки нарезают в больших количествах и по определенной технологии;

точность размеров, особенно для пазовых прокладок, размеры которых ограничены шириной паза;

чистоту кромок, отсутствие заусенцев и вмятин.

Ручные рычажные ножницы по производительности могут удовлетворить требованиям лишь мелкосерийного производства. При больших масштабах производства их механизируют, пристраивая кривошипную передачу рычага от электродвигателя.

Для резания изоляционных материалов на Рижском электромашиностроительном заводе применяют гильотинный штамп (рис. 13), установленный на 25-тонном эксцентриковом прессе. В процессе резания материал при помощи планки *2*, прикрепленной к верхней плите *3*, прижимается к столу *1*. Материал подается до упора *4*. Положение его регулируется в зависимости от требуемой ширины полосы, которая может достигать 700 *мм*. Угол наклона ножей 2°. Конструкция штампа предусматривает быструю замену ножей. Штамп удобен в работе, прост в наладке и обеспечивает хорошее качество резания.

Во многих электрических машинах применяются в небольших количествах круглые детали из листового материала. Такими деталями являются изоляционные торцовые листы сердечников якоря и ротора, стальные крайние листы разных диаметров, образующие ступенчатые зубцы по торцам ротора, изоляционные прокладки между пакетами сердечника ротора. Делать для них компаундные штампы нецелесообразно из-за малого количества и большого разнообразия деталей. Вырезание круглых деталей как из электрокартона, так и из электротехнической стали производят на круговых ножницах. В них заготовка зажимается в центре, а режущими инструментами являются два ролика. При ручных механизмах зажима заготовки и подвода приводного ролика круговые ножницы были малопроизводительны.

На рис. 14 показаны круговые ножницы с пневматическим управлением. Заготовка зажимается пневматической диафрагменной камерой (узел *I*) со штоком *2*, на конце которого закреплен прижимной центр *1*. Шток возвращается в исходное положение пружиной *3*. Подвижной нож подводится и отводится с помощью второй диафрагменной камеры (узел *II*). Давление от диафрагмы верхней части через вспомогательный грибовидный шток *4* с диском *5*, диск *6* и диафрагму нижней части передается на шток *8* с регулировочным каленым упором *9* на конце.

При заполнении камеры сжатым воздухом шток *8* перемещается и передает усилие на шпиндель подвижного ножа, который опускается и режет материал. Когда воздух удаляется из камеры, шток поднимается и нож со шпинделем под действием пружины *7* возвращается в исходное положение. Управление ножницами производится одним трехпозиционным краном. Ножницы рассчитаны на резание кружков диаметром до 900 *мм*. Использование пневматики на круговых ножницах резко сократило вспомогательное время и облегчило условия труда.

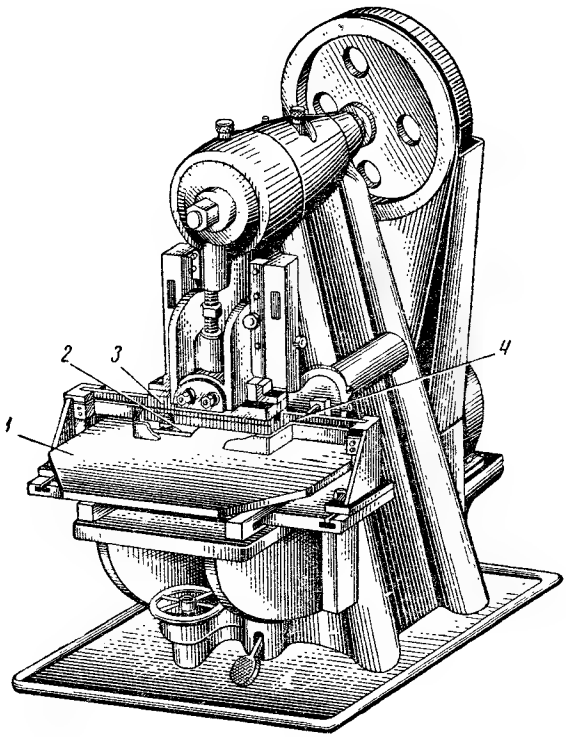


Рис. 13. Гильотинный штамп на эксцентриковом прессе

Во всяком производстве имеются детали, применяемые в малых количествах (одна-две на машину), для которых нерационально делать специальную технологическую оснастку. Такие детали вырезают на вибрационных ножницах (рис. 15). Электродвигатель жесткой муфтой соединен с головкой *1* шатуна *2*, являющейся эксцентриком. Вторая головка *3* шатуна шарнирно соединена с системой ломающихся рычагов *4*, передающих

колебания на шток *5*. На конце его в цанге закреплен резец *6*. Весь вибрирующий механизм заключен в коробку, в которую подается смазка шестеренчатым насосом. Шток с резцом совершает 1410 двойных ходов в минуту.

На нижней части станины *10* установлен нижний резцедержатель *7* с закрепленным в нем резцом. При помощи махович-

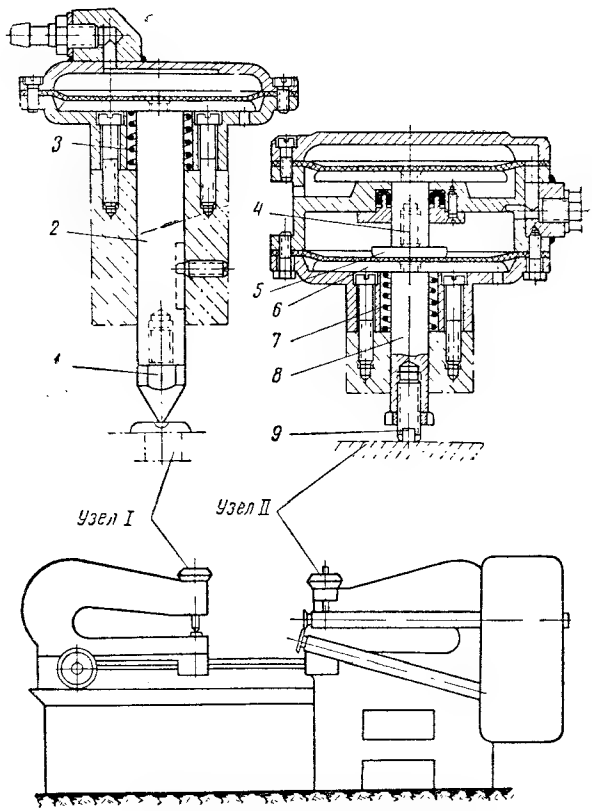


Рис. 14. Круговые ножницы с пневматическим управлением

ка можно регулировать зазор между резцами в зависимости от толщины вырезаемого материала. Угол раствора резцов 28°, а угол заточки 14°, что обеспечивает втягивание материала в зону резания. Для вырезки круглых деталей центр заготовки устанавливают на центр *8* и поджимают ее винтом *9*. Одновременно ножи должны быть заменены, что не занимает много времени.

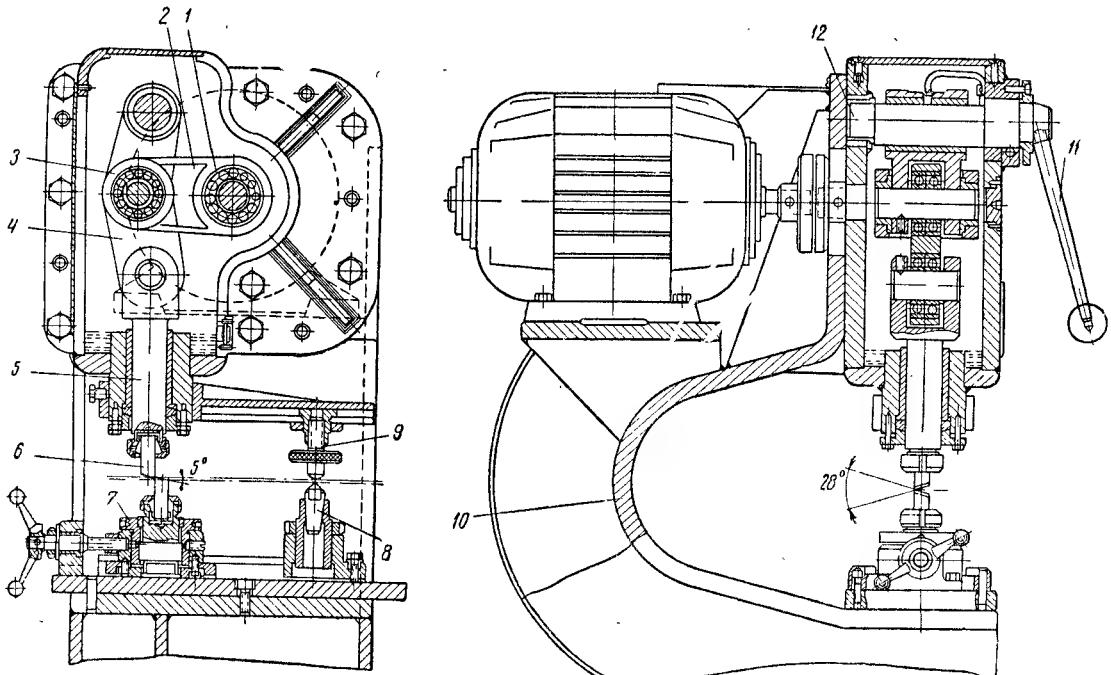


Рис. 15. Вибрационные ножницы

Для прорезки отверстий при помощи рукоятки *11* поворачивают валик *12,* имеющий эксцентриковые шейки. Верхний резец поднимается и среднюю часть заготовки вводят в зону резания. После этого при включенном двигателе постепенно опу-

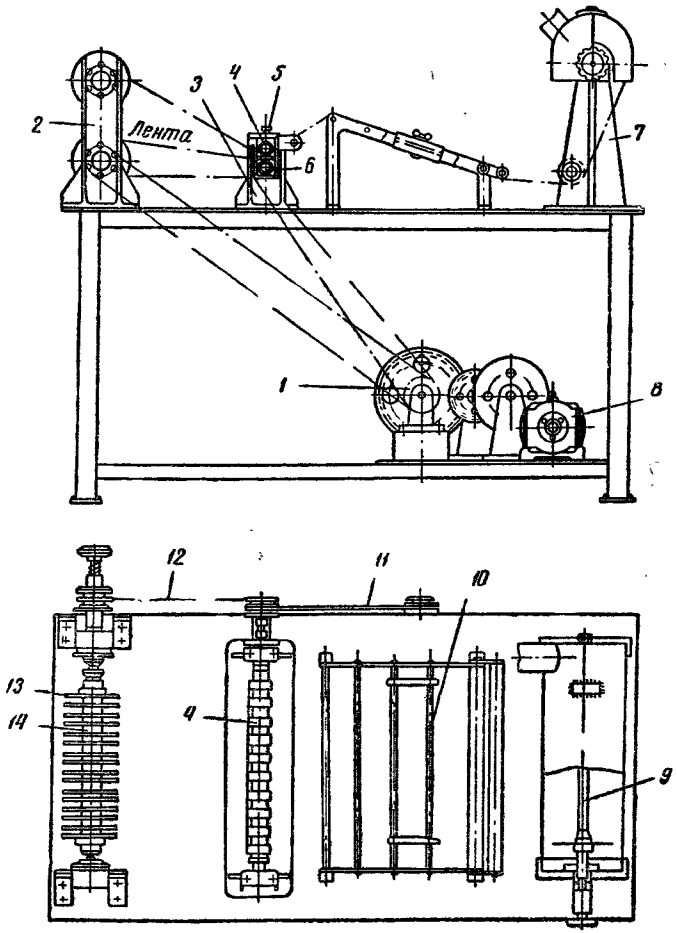


Рис. 16. Роликовые ножницы

скают верхний резец. Валик *12* фиксируется в верхнем и нижнем положении. При помощи вибрационных ножниц можно вырезать детали как из металлов, так и из изоляционных материалов.

Такие изоляционные материалы, как микалента, стеклолента, лакоткань, поступают в виде рулонов и разрезаются на ленты

требуемой ширины на роликовых ножницах (рис. 16). Режущие валки *4* и *6* состоят из дисковых ножей, которые с промежуточными втулками набраны на валики. Ширина ножей равна ширине разрезаемых лент. Валки вращаются в подшипниках стойки *3* и сжимаются болтом *5*. Нижний валок приводится во вращение от электродвигателя *8* через шестеренчатый редуктор *1* клиновым ремнем *11*. Разрезаемый рулон изоляционного материала надевают на свободно вращающуюся оправку *9*, опирающуюся на подшипники стойки *7*.

Полоса разрезаемого материала через направляющий ролик и решетку *10* подается к режущим валкам. Разрезанные ленты наматываются на приемные валки стойки *2*, состоящие из текстолитовых втулок *14* и перегородок *13*. По мере заполнения лентой приемные валки снимают и на их место ставят новые. Разбирают приемные валки вне станка. Вращение нижнему приемному валку сообщается от редуктора через роликовую цепь *12*, а между собой приемные валки также соединены роликовой цепью. Для удаления выделяемой при резании пыли станок снабжен отсасывающей вентиляцией. Роликовые ножницы обладают высокой производительностью и работать на них легко.

Для лучшего облегания обмоток лента из лакоткани должна быть нарезана так, чтобы основа ткани была расположена под углом к кромке ленты. Поэтому обычно кусок лакоткани разрезали на ленты в диагональном направлении, что препятствовало внедрению механизации и создавало большие отходы в углах куска. В настоящее время вырабатывают лакоткани, у которых основа расположена под углом к кромке куска, что позволило механизировать резание и устранить отходы материала.

§ 20. ИЗОЛИРОВКА ПАЗОВ

Заготовки для пазовых гильз, нарезанные на ножницах, нельзя сразу вставлять в пазы сердечника, так как они не будут облегать весь контур паза и углы его не будут заполнены проводами. Поэтому гильзы подвергают предварительной формовке, при которой их изгибают в штампах по линиям, приходящимся против углов паза. В некоторых машинах для предохранения гильз от разрывов их при этом отбортовывают в местах выхода из паза. В целях повышения производительности гибку гильз объединяют с процессом резания заготовок, таким образом из предварительно нарезанных полос электрокартона получают готовые гильзы, которые вручную вставляют в пазы.

При массовом производстве машин применяют полуавтоматические станки, в которые вставляют сердечник статора или ротора и заправляют ролик электрокартона, предварительно нарезанный на роликовых ножницах. Все остальные операции ста-

нок выполняет по автоматическому циклу и выдает готовый к обмотке изолированный сердечник.

На рис. 17 показана кинематическая схема изолировочного полуавтомата, спроектированного Всесоюзным научно-исследовательским институтом технологии электромашино- и аппаратостроения (ВНИИТэлектромаш). Он предназначен для изолировки пазов статора асинхронных электродвигателей единой серии 3 и 4-го габаритов. Для изолировки статоров других размеров полуавтомат снабжен сменными головками.

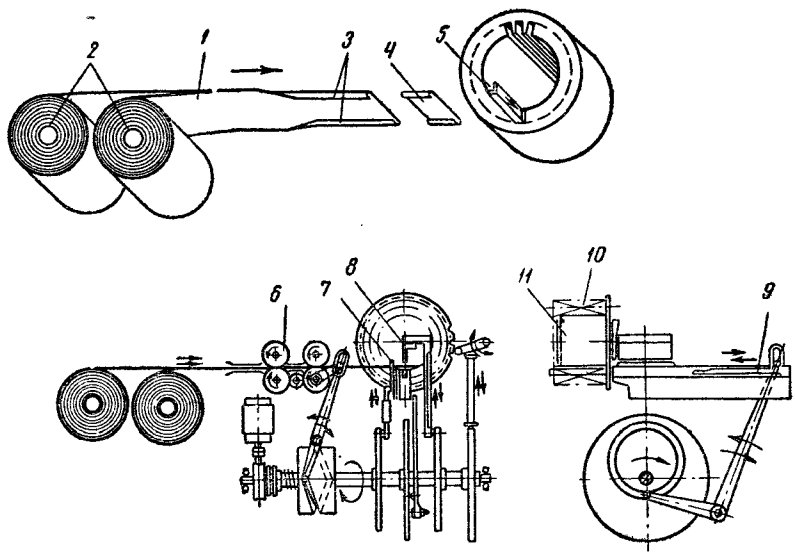


Рис. 17. Кинематическая схема станка для изолировки пазов статора

Лента *1* изоляционного материала поступает с рулонов *2*. Ширина рулона равна длине сердечника статора плюс четырехкратная длина прямолинейного выступа ленты из паза. Края ленты, выступающие из паза, получают отбортовку *3* для увеличения механической прочности пазовых гильз. Затем ножами *7* от ленты отрезается заготовка гильзы *4*, длина которой равна развернутой ширине пазовой гильзы. Подача и отбортовка ленты осуществляется профилированными роликами *6*.

Заготовка гильзы *4* пуансоном формовочного штампа *8* вдвигается в канал матрицы, где из нее выгибается гильза *5*, которая механизмом *9* вдвигается в паз статора *10*, установленного на стакане головки *11*. Головка периодически поворачивается на одно пазовое деление, поочередно переводя в зону канала матрицы все пазы статора. После окончания изолировки пазов

станок автоматически останавливается. Производительность полуавтомата — 100 пазов в минуту.

Изолировка пазов якоря производится на полуавтоматических станках, повышающих производительность труда в 5—6 раз. Для якорей малых диаметров с тонкими зубцами изолировку производят непрерывной лентой, которая огибает контуры пазов и коронки зубцов. Это предохраняет провода от попадания между пазовой гильзой и стенкой паза. После обмотки якоря изоляцию на зубцах разрезают и края гильз загибают в пазы. При широких коронках зубцов якоря изолировка непрерывной лен-

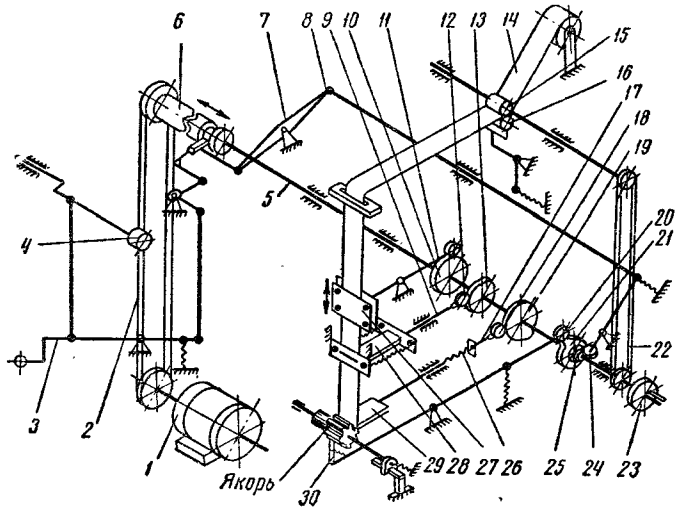


Рис. 18. Кинематическая схема станка для изолировки пазов якоря

той приводит к большому расходу изоляции, поэтому каждый паз изолируют отдельной гильзой, края которой выступают из паза на 3—4 *мм*.

На рис. 18 показана кинематическая схема изолировочного станка типа О-04 «Электрозавода». Привод станка осуществляется от электродвигателя *1* через ременную передачу *2* с натяжным роликом *4* и муфту сцепления *6* на вал с четырьмя кулачками. При наладке станка муфту *6* расцепляют педалью *3*, а вал *5* поворачивают маховичком *23*. Кроме того, муфта *6* имеет автоматическое управление через тягу *8* и кулису *7* для остановки станка после изолировки всех пазов якоря. Лента электрокартона *14* подается к якорю с рулона роликами *15* и *16*, которые связаны с валом *5* клиноременной передачей *22*.

Кулачок *10* через тягу *11* с роликом на конце управляет механизмом *27* зажима и подачи ленты. Вслед за ним кулачок *19* через тягу *17* с роликом *18* вводит в паз пуансон *29,* который расправляет и прижимает ленту к стенкам паза. Пружина *26* возвращает пуансон в исходное положение. После этого кулачок *13* через тягу *9* с роликом *12* приводит в действие нож *28,* перерезающий ленту. Якорь поворачивается на одно зубцовое деление собачкой *30,* приводимой в действие тягой с роликом *20* от звездочки *21,* имеющей число впадин, равное числу пазов якоря. После изолировки всех пазов кулачок *25* нажмет на ролик *24,* который через тягу *8* и кулису *7* расцепляет муфту *6* и останавливает станок.

ГЛАВА IV

КАТУШКИ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

§ 21. МЯГКИЕ КАТУШКИ СТАТОРА

В старых типах асинхронных двигателей всыпные обмотки применяли только для машин мощностью до 10 *квт*. В единых сериях асинхронных двигателей А; АО; А2 и АО2 впервые в практике электромашиностроения всыпные оботки статора применили для машин мощностью до 100 *квт*. В связи с этим освоена намотка катушек с числом параллельных проводов до 12. Такие катушки наматывают сразу пучком проводов с нескольких барабанов.

В статорных обмотках часть катушек, лежащих в соседних пазах, соединяют между собой последовательно. Эти катушки образуют катушечную группу. При намотке катушек обычно катушечную группу наматывают, не обрывая провода. Благодаря этому после укладки в пазы не нужно соединять катушки одной катушечной группы между собой, что упрощает монтаж схемы обмотки и исключает возможность перепутывания выводных концов катушек. Для намотки катушечной группы намоточный шаблон должен иметь несколько желобков, в которых размещаются витки катушки.

В машинах малой мощности стремятся к дальнейшему упрощению соединений на статоре, наматывая всю фазу, состоящую из нескольких катушечных групп, одним непрерывным проводом. После укладки в пазы такая обмотка будет иметь только шесть выводных проводов, представляющих собой начала и концы трех фаз. Следовательно, процесс соединения катушечных групп совершенно отпадает.

Намоточные шаблоны для всыпных обмоток выполняют из твердых пород дерева или из алюминия. При конструировании шаблонов обращают особое внимание на то, чтобы отпирание шаблона и съем намотанной катушки производились с мини-

мальными затратами труда и времени. Если бы щеки шаблона скреплялись болтами, то на съем катушки уходило бы больше времени, чем на ее намотку.

Раньше в процессе намотки катушки намотчица вела счет витков по оборотам шаблона. Это очень утомляло намотчицу, ограничивало скорость вращения станка и не исключало ошибок. Поэтому приходилось вводить контрольную операцию проверки числа витков. Современные намоточные станки имеют автоматические счетчики оборотов, останавливающие станок после намотки требуемого числа витков. Настраивают станок на данное число витков посредством сменных шестерен в механизме счетчика.

На рис. 19 показана кинематическая схема намоточного станка завода ХЭМЗ. Станок имеет полый шпиндель, приводимый во вращение электродвигателем *9* через ременную передачу *1*. Рядом с передачей на шпиндель насажен шкив *2* ленточного тормоза, который тягой *11* соединен с педалью *7* включения станка. Таким образом, при остановке станка шпиндель автоматически затормаживается, предупреждая ослабление натяжения провода.

Через шпиндель и систему зубчатых колес *6* электродвигатель вращает механизм *3* автоматической остановки станка после намотки требуемого числа витков, которое может быть установлено в пределах от 4 до 25. Станок останавливается под действием кулачка *8* на зуб *13* механизма зацепления *12*. При этом освобождается тяга *11* и, двигаясь вверх, увлекает за собой рычаг *10*.

Для съема намотанной катушечной группы станок оборудован пневматическим цилиндром *14*, который тягой, проходящей через полый шпиндель, связан с шарнирным механизмом *5* намоточного шаблона *4*. При этом головки шаблона сдвигаются к центру и катушечная группа легко снимается с шаблона. Для намотки следующей группы надо снова развести головки шаблона поворотом воздушного крана.

При отсутствии отверстия в шпинделе намоточного станка применяют шарнирный шаблон с ручным механизмом отпирания (рис. 20). Он особенно удобен для катушечных групп с большим числом катушек, когда массивные шаблоны становятся очень тяжелыми. Оправка шаблона ввертывается в резьбовое отверстие в шпинделе. Это в несколько раз уменьшает время на установку шаблона по сравнению с креплением шаблона к шпинделю с помощью болтов.

Перед намоткой катушечной группы конец обмоточного провода закрепляют за оправку *1*. Затем наматывают первую катушку, прокладывая шпагат в канавки шаблона для связывания витков. После намотки первой катушки через прорези в шаблоне переводят провод в следующий желобок. После намотки всей

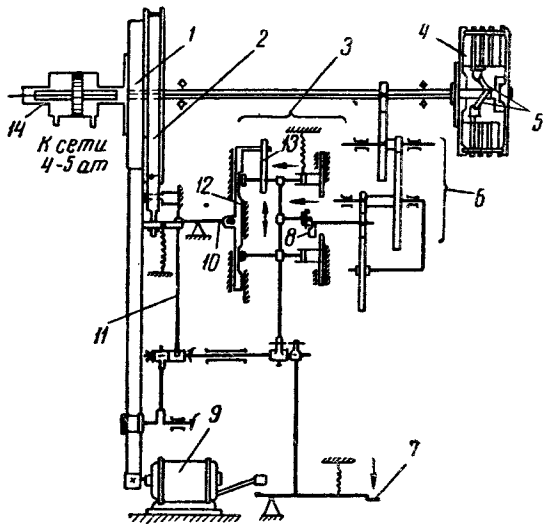


Рис. 19. Кинематическая схема намоточного станка

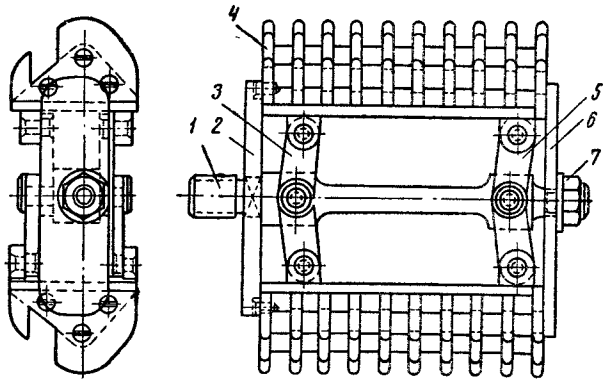


Рис. 20. Шарнирный намоточный шаблон

катушечной группы намотчица отвинчивает гайку *7* примерно на один оборот и снимает планку *6*, имеющую открытую прорезь. При повороте планок *3* и *5* вокруг осей головки *4* сходятся к центру, освобождая катушки группы. Для намотки следующей катушечной группы шаблон отжимают обратно до упорной планки *2*, надевают планку *6* и зажимают ее гайкой *7*.

В обмотках с мягкими катушками при большом числе проводов в пазу большое влияние на заполнение паза имеет толщина витковой изоляции. Снижение толщины изоляции позволяет увеличить объем меди в пазу и соответственно повысить мощность машины. Ввиду недостаточной надежности проводов с эмалевой изоляцией приходится в широких пределах применять обмоточный провод ПЭЛБО с комбинированной эмалево-волокнистой изоляцией. Применение проводов с высокопрочной эмалевой изоляцией позволит увеличить количество проводов в пазу. Хорошие результаты дало использование провода ПЭВТЛ-2 с эмалевой изоляцией (класс нагревостойкости Е), обладающего прочностью и влагостойкостью.

На некоторых заводах медные провода заменяют алюминиевыми. Электропроводность алюминия в 1,63 раза меньше электропроводности меди, поэтому при том же токе статора приходится увеличивать сечение провода во столько же раз. Если до замены провода статор обматывался медным проводом ПЭЛБО, то в двигателях малой мощности его заменяют алюминиевым проводом ПЭЛРА-2. Меньшая толщина изоляции алюминиевого провода позволяет увеличить диаметр голого провода и сохранить ту же мощность двигателя.

Перед укладкой катушек вкладывают в пазы гильзы, которые защищают изоляцию катушек от механических повреждений. Во всыпных обмотках пазовые гильзы одновременно изолируют обмотку от корпуса. Пазовая изоляция представляет собой однослойную или многослойную U-образную скобочку, материал которой подбирают в зависимости от класса нагревостойкости. Для класса А применяют электрокартон и лакоткань, а для класса В — гибкий миканит или стеклолакоткань. При полузакрытых пазах пазовая гильза должна быть достаточно жесткой, чтобы не сминаться проводами обмотки при укладке их в пазы.

В статорных всыпных обмотках в течение многих лет применяют трехслойную пазовую гильзу, состоящую из двух полосок электрокартона *1* и *3* и одной полоски лакоткани *2* между ними (рис. 21, *а*). Между слоями обмотки в пазах и под деревянный клин *5* ставят прокладки *4* в виде согнутых коробочек.

Внешняя полоска электрокартона защищает лакоткань от повреждений стенками паза, внутренняя — от смятия проводами обмотки, а изоляцию проводов — от повреждения коронками зубцов. Поэтому внутренняя полоска имеет бо́льшую ширину,

края ее выступают из паза и их приходится срезать после укладки обмотки в пазы. Однако и после срезания краев эта полоска остается более широкой, чем другие, поэтому при заклинивании пазов она образует складки внутри паза, снижающие коэффициент заполнения паза медью. Для устранения этого затруднения все три полоски нарезают одинаковой ширины, а в процессе укладки обмотки в паз вставляют дополнительные вкладыши *б* из фибры или электрокартона (рис. 21, *б*). После укладки всех проводов в паз вкладыши вытаскивают и вставляют в следующий паз.

Общая толщина трехслойной гильзы получается 0,6—0,65 *мм*. В машинах малой мощности такая гильза вместе с воздушными прослойками между полосками

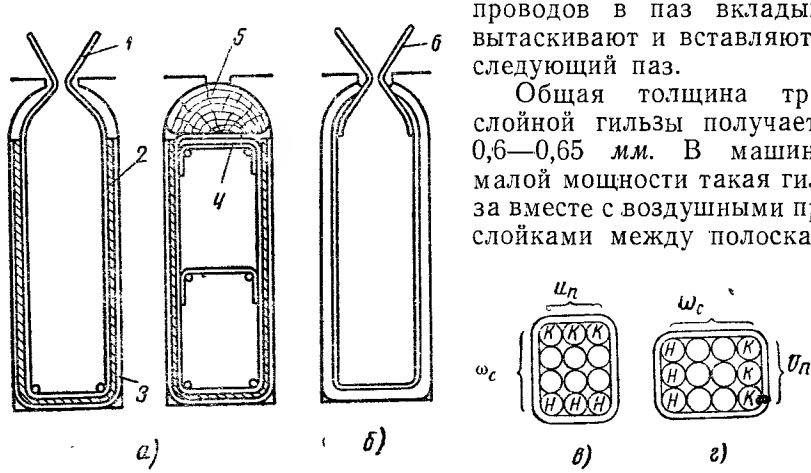


Рис. 21. Расположение проводов в пазах статора (*а, б*) и якоря (*в, г*)

занимает до 30% площади паза. Кроме того, воздушные прослойки резко снижают теплопроводность пазовой изоляции, что ведет к повышению нагрева обмотки. Толщина пазовой изоляции может быть значительно снижена путем замены составной гильзы пленкоэлектрокартоном, представляющим собой полоску картона толщиной 0,15 *мм*, оклеенную триацетатной пленкой толщиной 0,05 *мм*. В новой серии асинхронных двигателей 2—5-го габаритов предусматривается применение пазовой изоляции, состоящей из лавсана толщиной 0,05 *мм* в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,15—0,2 *мм*.

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона, толщину и количество которых подбирают так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовых гильз, предохраняя их от разрывов при отгибании лобовых частей обмотки.

Анализ пробоев изоляции электрических машин с гильзовой изоляцией показывает, что слабым местом является выход гильзы из паза. Поэтому применяют и другие способы защиты гильз от разрывов, в частности:

опиливание граней зубцов перед укладкой обмотки;

укрепление выступающих из пазов концов гильз путем отбортовки (см. рис. 17);

надевание на выступающие концы гильз штампованной из фибры гребенки.

Между лобовыми частями катушек всыпной обмотки, составляющих катушечную группу, вполне достаточной является витковая изоляция проводов. Но между катушечными группами ставят специальные прокладки из такого же материала, что и пазовые гильзы. Это объясняется тем, что соседние катушечные группы принадлежат к разным фазам и между ними действует линейное напряжение.

§ 22. МЯГКИЕ КАТУШКИ ЯКОРЯ

В машинах постоянного тока мощностью до 1 *квт* предпочитают обматывать якорь проводом непосредственно в пазы, поэтому процесса намотки катушек нет. Это дает значительную экономию длины лобовых частей, особенно в двухполюсных машинах. Такие обмотки якоря называются ручными; они рассматриваются в § 79.

Всыпные катушечные обмотки якоря применяют в машинах с полузакрытыми пазами мощностью примерно до 15 *квт*.

В машинах большей мощности якори имеют открытые пазы, в которые вкладывают двухслойные обмотки, состоящие из формованных изолированных катушек. Процесс изготовления таких катушек значительно отличается от изготовления всыпных обмоток. При диаметре обмоточного провода более 1 *мм* катушки наматывают правильными рядами, а не врассыпную, как это было в катушках всыпных обмоток. Поэтому сечение катушки представляет собой прямоугольник со скругленными углами.

Обычно якорная катушка состоит из нескольких секций, число которых определяется отношением числа коллекторных пластин к числу пазов. *Секцией* называется часть катушки, заключенная между двумя коллекторными пластинами. Но число коллекторных пластин всегда больше числа пазов, поэтому в катушке несколько секций. Число секций в катушке обозначается $u_п$. При намотке катушки шаблон делает несколько оборотов в зависимости от числа витков в секции, обозначаемого $w_с$. Таким образом, число проводов в сечении катушки равно произведению числа секций в катушке на число витков в секции. Намотку катушки ведут сразу с нескольких барабанов по числу секций в ней. Поэтому перед намоткой бухту медного провода сначала перематывают на пустые барабаны.

У формованной якорной катушки провода на шаблоне располагаются так же, как в пазу якоря. Поэтому для удобства намотки секции в пазу должны располагаться по ширине паза,

а витки катушки — по глубине паза. Это показано на рис. 21, *в* для катушки, имеющей три секции и четыре витка. Буквами *Н* обозначены начала секций, а буквами *К* — их концы.

При расположении проводов в пазу и на шаблоне, показанном на рис. 21, *в*, намотку ведут с трех барабанов и шаблон делает четыре оборота. На рис. 21, *г* изображено другое расположение проводов в пазу, при котором секции размещены по глубине паза, а витки — по ширине. Очевидно, что при таком положении проводов катушку нельзя наматывать сразу тремя проводами, а приходится наматывать одним проводом в три приема: сначала нижний ряд, потом средний и, наконец, верхний. При этом время намотки возрастает более чем в три раза. Кроме того, усложняется процесс подвода проводов к пластинам коллектора.

Если катушка должна быть намотана в два параллельных провода, то число проводов в сечении катушки, а следовательно, и число барабанов удваивается. Обычно параллельные провода секции в пазу и на шаблоне располагают один над другим.

Якорные катушки имеют небольшое число витков (от 2 до 6), и машины постоянного тока выпускают в значительно меньших количествах, чем асинхронные двигатели. Поэтому для намотки катушек якоря используют простые станки, относящиеся к так называемому нестандартному оборудованию, изготовляемому силами электромашиностроительного завода. В процессе намотки катушки станок должен преодолевать усилие торможения провода, необходимое для плотного облегания контура шаблона, и обеспечивать плавный пуск и быструю остановку. Качество намотки зависит от равномерного натяжения всех проводов. Натяжение проводов создают посредством огибания ими направляющих роликов, а соответствующую форму придают пучку проводов, пропуская их через прямоугольное отверстие в фибровой плашке.

Шаблон для якорных формованных катушек имеет своеобразную (вытянутую) форму, называемую «лодочкой». Размеры сердечника шаблона можно получить только расчетным путем. Шаблоны для якорных формованных катушек требуют значительно большей точности изготовления, чем для статорных всыпных катушек. Если длина лобовых частей будет недостаточной, то катушки не уложатся на обмоткодержателях; при излишней длине лобовых частей обмотка может задевать за вентилятор или петушки коллекторных пластин.

Практикуемый иногда способ подгонки размеров шаблона посредством нескольких проб с проверкой укладки катушек на якоре занимает много времени, кроме того, такой способ не позволяет наматывать катушки до изготовления сердечника якоря. Процесс подгонки шаблонов обычно не доводят до конца, за-

канчивая его при достижении более или менее удовлетворительных результатов.

Намоточные шаблоны делают из стали, так как в процессе намотки приходится подбивать провода к шаблону. К одному из узких концов шаблона приваривают планку с ввернутым болтом, за который закрепляют провода перед началом намотки. Длина планки должна быть равна длине развернутой лобовой части катушки с учетом длины концов, впаиваемых в петушки коллектора. После снятия с шаблона прямолинейные стороны катушки скрепляют скобочками из жести, чтобы провода не рассыпались.

Заготовка катушки, снятая с намоточного шаблона, имеет плоскую форму; пазовые ее части расположены на расстоянии ширины шаблона. Для укладки в пазы якоря стороны катушки должны быть расположены в двух плоскостях и удалены одна от другой на расстояние шага обмотки. Поэтому катушку после намотки растягивают на специальном растяжном станке. Эти станки, долгое время работавшие с ручным приводом, в настоящее время на всех заводах механизированы. Применены пневматические цилиндры, что значительно повысило производительность труда. Существуют два вида растяжки катушек — параллельная и радиальная. Для катушек якоря чаще применяют параллельную растяжку.

На рис. 22 показана конструкция растяжного станка для параллельной растяжки катушек в положении конца растяжки. Головки катушки вкладывают в головные кулачки *7* и *12,* а пазовые части — в пазы *11* и *13,* в которых они зажимаются действием пневматических цилиндриков *6* и *8,* управляемых краном *10.* Привод растяжки осуществляется пневматическим цилиндром *1* двойного действия, которым управляют краном *9.* Средняя часть поршня *2* выполнена в виде зубчатой рейки, сцепленной с зубчатым колесом *3.*

К ободу колеса шарнирно прикреплены рычаги *4* и *5.* Рычаг *4* сообщает поступательное движение пазу *13* с вложенной в него стороной катушки, а рычаг *5* — пазу *11,* разводя стороны катушки до упоров в столе станка. После растяжки освобождают пазовые части катушки краном *9* и вынимают растянутую катушку из станка. Пазовые зажимы снова сводят в исходное положение и вкладывают в них следующую заготовку.

У катушки, снятой с растяжного станка, пазовые части лежат в параллельных плоскостях. На якоре они должны быть расположены под углом между пазами якоря. Поэтому лобовые части выгибают в специальных гибочных шаблонах под пневматическим прессом (рис. 23). В гибочном шаблоне рядом расположены два желобка для лобовых частей верхней и нижней сторон катушки.

После выгибания лобовых частей катушка получает оконча-

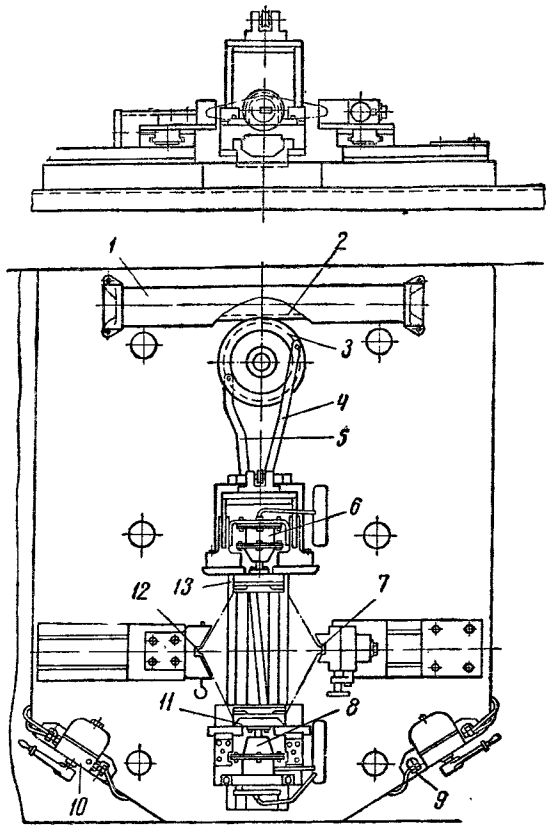


Рис. 22. Станок для параллельной растяжки катушек

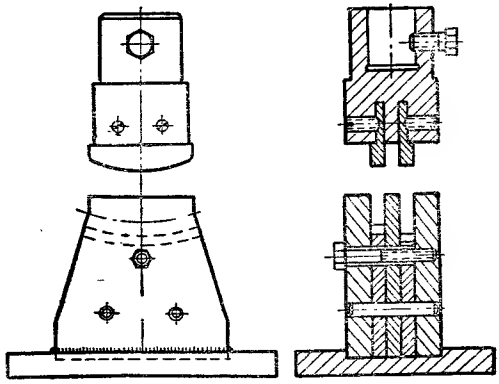


Рис. 23. Приспособление для выгибания лобовых частей катушки

тельную форму и поступает в изолировку. В зависимости от конструкции обмотки изоляция катушки может быть гильзовой или непрерывной. В обоих случаях лобовые части катушки оплетают лентами. При непрерывной изоляции верхний защитный слой ленты в пазовых частях наматывают в стык, а в лобовых — в нахлестку.

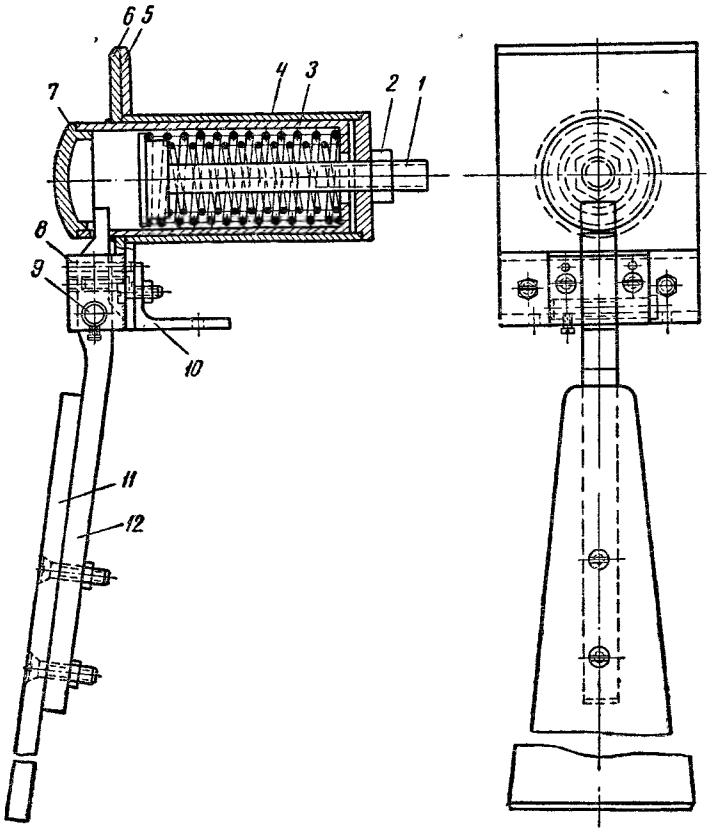


Рис. 24. Изолировочные тиски

Для изолировки катушек лентами вручную применяют изолировочные тиски. Они отличаются от слесарных тем, что зажим катушки производится пружинами и поэтому не требует дополнительного времени. Кроме того, сжимающее усилие в них регулируется и исключается опасность повреждения изоляции.

На рис. 24 показано устройство изолировочных тисков завода «Динамо» с параллельным раствором губок и регулируемым усилием сжатия. Изолируемая катушка зажимается между не-

подвижной губкой *5* и подвижной *6*, которые приварены к двум цилиндрам *3* и *4*. Губки сжимаются при помощи двух пружин, помещенных в цилиндре *3*. Пружины предварительно сжаты центральным штоком *1* с навернутой на него гайкой *2*, при помощи которой можно регулировать усилие сжатия.

Наружный цилиндр *4* крепится к верстаку приваренным к нему угольником *10*, а внутренний закрыт крышкой *7* и имеет прорезь, в которую входит зуб рычага *12*. Этот рычаг поворачивается на оси *9*, закрепленной в обойме *8*. При нажиме ногой на текстолитовую планку *11* губки тисков раскрываются и изолируемую катушку вынимают, вставляя на ее место другую. Губки тисков необходимо периодически очищать от налипшего на них лака.

Для изолировки катушек крупных машин применяют полуавтоматические изолировочные станки, рассматриваемые в § 23.

ГЛАВА V

КАТУШКИ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

§ 23. ЖЕСТКИЕ КАТУШКИ СТАТОРА

Для машин переменного тока мощностью свыше 100 *квт* наматывать катушки статора из круглого провода было бы очень трудно, так как пришлось бы брать слишком большое число параллельных проводов. Поэтому для мощных машин катушки наматывают из проводов прямоугольного сечения, которые вкладывают в пазы с параллельными стенками. Такими пазами могут быть полуоткрытый и открытый. В машинах мощностью до 400 *квт* при напряжениях до 660 *в* применяют полуоткрытые пазы. Они отличаются от полузакрытых пазов тем, что прорезь паза сдвинута с середины в сторону и по величине равна половине ширины паза (рис. 25).

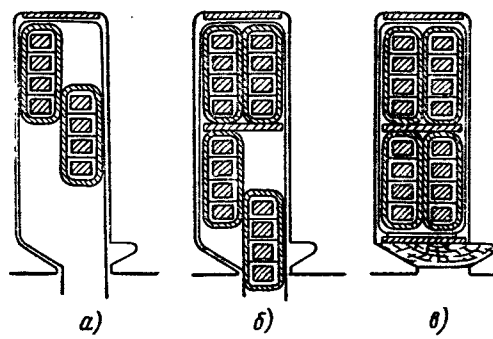


Рис. 25. Полуоткрытый паз статора:
а, б, в — порядок укладки катушек

Чтобы можно было заполнить паз через прорезь, каждую катушку делят по ширине на две, вводя их в паз, как показано на рисунке. Таким образом, общее число катушек в два раза больше числа пазов, что усложняет процессы намотки и изолировки катушек. Тем не менее полуоткрытые пазы применяют в машинах переменного тока, так как по сравнению с открытыми они создают меньшее сопротивление для магнитного потока, что позволяет повысить cos φ машины и снизить пульсационные потери.

Провода каждой полукатушки оплетены лентой, и в пазы вложены изоляционные гильзы из двух слоев электрокартона с проложенной между ними полоской лакоткани. Таким образом, изоляцией от корпуса, так же как и во всыпных обмотках, служит пазовая гильза. Особенно трудоемкой является изоляция вручную лентой лобовых частей полукатушек.

В последнее время разработан метод изолировки лобовых частей специальным компаундом. После растяжки полукатушки погружают лобовыми частями в компаунд, просушивают при температуре 150—170° С в течение 15—20 мин. и укладывают в пазы. Предварительная пропитка в компаунде позволила отме-

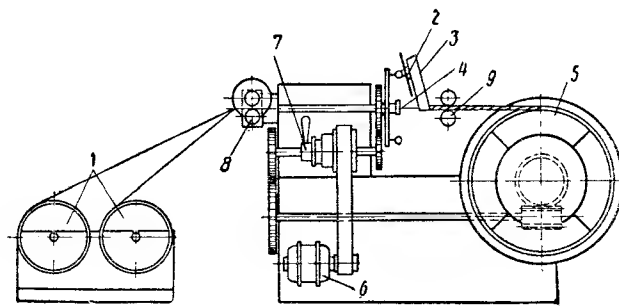


Рис. 26. Намоточно-изолировочный станок ШЛМ

нить и изоляцию пазовых частей телефонной бумагой, так как эти компаунды обладают высокой склеивающей способностью. Таким образом, применение новых изоляционных составов дало возможность коренным образом изменить весь технологический процесс изготовления полукатушек и резко поднять производительность труда.

Для машин напряжением выше 660 *в* гильзовая изоляция является недостаточно надежной, поэтому все высоковольтные машины переменного тока выполняют с непрерывной изоляцией статорных катушек путем оплетания их лентами по всему контуру. Число слоев ленты определяется напряжением машины и условиями ее работы. Катушки с непрерывной изоляцией могут быть вложены только в открытые пазы.

Катушки наматывают из прямоугольного провода ППТБО, изоляция которого состоит из триацетатной пленки, телефонной бумаги и хлопчатобумажной обмотки. Если катушки наматывают из проводов ПБД или ПСД, то требуется дополнительная изоляция каждого витка микалентой или синтолентой. Раньше эту изолировку проводили вручную после намотки катушки на шаблон-лодочку. В настоящее время наложение витковой изо-

ляции механизировано. Чтобы скорость движения провода была постоянной, катушку наматывают на цилиндрический шаблон, периметр которого равен периметру катушки.

Намоточно-изолировочный станок ШЛМ (рис. 26) приводится во вращение электродвигателем *6* через ременную передачу. Для соединения станка с передачей служит фрикционная муфта *7* и гаечный выключатель, сидящие на промежуточном валике. От этого валика через зубчатую передачу вращается корпус *2* механического обмотчика, представляющего собой наклонно установленный диск с надетыми на него роликами *3* с изоляционной лентой.

Через червячную передачу и вторую пару зубчатых колес приводится во вращение намоточный шаблон *5*. Скорости вращения шаблона и механического обмотчика должны быть согласованы так, чтобы провод передвигался через шпиндель станка *4* за один оборот обмотчика на величину перекрытия ленты. Провод подается на станок с барабанов *1*; число их определяется числом параллельных проводов в катушке. Перед шпинделем станка провод проходит между роликами *8*, которые разглаживают неровности. Ролики *9* служат для поддерживания провода на участке изолировки. После намотки круглую заготовку растягивают в виде лодочки.

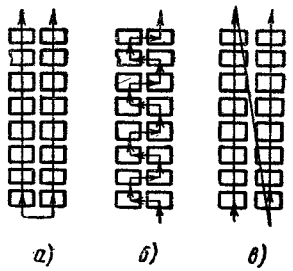


Рис. 27. Схемы намотки катушек статора:
а, б, в — варианты намотки

Обмотка статора при открытых пазах состоит из одиночных катушек, число которых для двухслойной обмотки равно числу пазов. На заводе им. Владимира Ильича была проведена работа по замене провода ПБД эмалированным прямоугольным проводом ПЭВП с дополнительной витковой изоляцией из синтоленты. Испытания машин дали хорошие результаты и позволили прийти к выводу о возможности уменьшения размеров пазов путем уменьшения толщины витковой изоляции.

Во всех машинах большой мощности применяют катушки с двухрядным расположением проводов по ширине паза. На рис. 27 показаны варианты намотки катушки. Наиболее простым является способ намотки, изображенный на рис. 27, *а*. Однако при этом в высоковольтных машинах получается большое напряжение между выводными концами катушки.

Для снижения напряжения применяют намотку по схеме, показанной на рис. 27, *б*, связанной со значительными технологическими трудностями. Как видно из схемы, в каждом ряду надо делать переходы вначале справа налево, а затем слева направо. Для этого при каждом обороте шаблона приходится про-

вод перекладывать из одного ряда в другой в лобовой части катушки и переходы дополнительно изолировать.

При намотке по схеме, изображенной на рис. 27, *в*, эти трудности устраняются. Сначала наматывают один вертикальный ряд проводов, а затем при обратном направлении вращения станка — второй. Переходы делают в головке катушки. Иногда ряды проводов наматывают отдельно, а места их соединений сваривают.

Для укладки в пазы статора пазовые части должны быть разведены на величину шага обмотки и расположены под углом между пазами, в которые вкладывают стороны катушки. Для этого заготовку-лодочку подвергают второй растяжке в катушку. Растяжка катушек высоковольтных обмоток статора значительно отличается от растяжки якорных катушек.

У якорной обмотки лобовые части верхнего и нижнего слоя почти вплотную прилегают одна к другой, в то время как в статорных обмотках они значительно удалены (см. рис. 56). Статорные катушки имеют большие размеры как линейные, так и поперечного сечения, что требует более мощных растяжных станков. Расположение пазовых частей катушки под углом должно быть выполнено одновременно с растяжкой пазовых частей, так как добиться этого выгибанием лобовых частей после растяжки невозможно. При растяжке надо остерегаться повреждения междувитковой изоляции из микаленты. При растяжке статорных катушек провода прямоугольного сечения в лобовых частях выгибаются на ребро, что требует приложения больших усилий.

Выполнение всех этих требований возможно только при радиальной растяжке статорных катушек на специальных станках со сложной кинематикой и с механическим приводом. Ввиду того что на каждом заводе в производстве находятся несколько типов статорных обмоток, растяжные станки выполняют с настройкой на катушки разных размеров в определенном диапазоне.

На рис. 28 показана конструкция растяжного станка завода им. Владимира Ильича с пневматическим приводом. На сварной раме *1* могут передвигаться два механизма растяжки *8* и два кронштейна *2* с кулачками *4* фиксации головок катушки. Они устанавливаются по размерам заготовки-лодочки и запираются эксцентриками *21*. Нижняя прямолинейная часть катушки усилием пневматических цилиндров *17* зажимается в губках *16*, а верхняя часть усилием цилиндров *14* — в губках *15*, которые в начальном положении находятся в вертикальной плоскости.

Головки катушки надеваются на штыри кулачков *4* и зажимаются усилием пневматических цилиндров *5*. В исходном положении головные кулачки отклонены под действием грузов *3*. В процессе растяжки пазовые части расходятся, а головки ка-

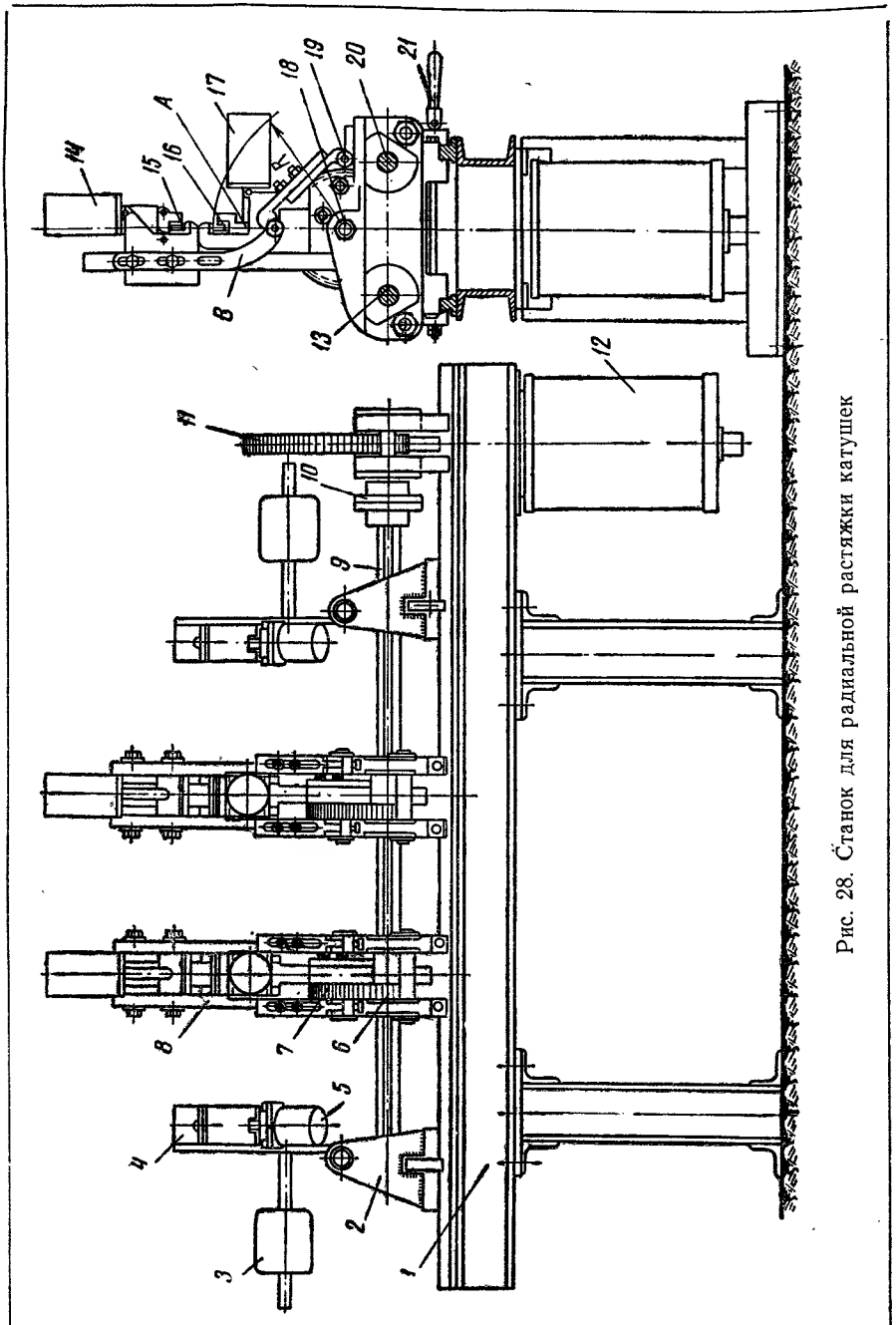


Рис. 28. Станок для радиальной растяжки катушек

тушки сближаются и кулачки приходят в вертикальное положение, показанное на рисунке.

Усилие растяжки создается главным пневматическим цилиндром *12*, поршень которого заканчивается двухсторонней зубчатой рейкой *11*. При движении поршня вниз поворачиваются в разные стороны два зубчатых сектора, сидящие на валах *13* и *20* и сцепленные зубьями с рейкой *11*. Валы *13* и *20* при помощи муфт *10* соединены с двумя валиками *9*, проходящими через оба механизма растяжки *8*. На них скользят на шпонках зубчатые колеса *6*, по два на каждом валике. Колеса сцеплены зубьями с двумя зубчатыми секторами *7*, которые телескопически насажены на общие оси *18*.

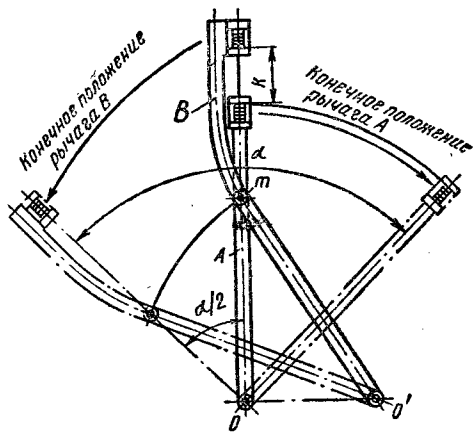


Рис. 29. Кинематическая схема механизма растяжки

При вращении валиков *9* секторы вращаются в противоположные стороны и раздвигают рычаги *A* и *B*, на концах которых закреплены губки *15* и *16* с зажатыми в них пазовыми сторонами катушки. Для ограничения растяжки на рейке *11* имеются переставные упоры. Станок управляется двумя пневматическими кранами двойного действия, из которых один приводит в движение поршень главного цилиндра *12*, а другой — поршни вспомогательных цилиндров *5*; *14* и *17*. Станок допускает растяжку катушек с длиной пазовой части в пределах от 220 до 800 *мм* и диаметром расточки статора от 300 до 600 *мм*. При изменении диаметра переставляют пазовые кулачки в радиальном направлении.

Кинематическая схема механизма растяжки показана на рис. 29. В исходном положении рычагов *A* и *B* расстояние κ между сторонами катушки равно ширине намоточного шаблона. В конце растяжки расстояние между ними должно быть равно толщине изоляции в пазу. В то же время пазовые части должны быть расположены на сторонах центрального угла α между пазами, определяющими шаг обмотки. Для выполнения этих условий рычаг *A* вращается вокруг точки *O* (на рис. 28 ось *18*), а рычаг *B* вокруг точки *O'* (на рис. 28 ось *19*). Рычаги *A* и *B* шарнирно соединены в точке *m*.

После снятия с растяжного станка катушка не имеет точных размеров, необходимых для вкладывания ее в пазы, так как

лобовые части пружинят, а пазовые части разбухают вследствие неплотностей между витками. Поэтому у жестких катушек прессуют пазовые части и рихтуют лобовые части.

Если катушка не подвергалась компаундированию в форме лодочки, то провода обмотки перед прессовкой покрывают клеящими лаками, имеющими свойство полимеризоваться, т. е. переходить в неплавкое и нерастворимое состояние при нагреве. К таким лакам относятся бакелитовый, глифталевый, а также лаки на эпоксидных смолах. Процесс прессовки пазовых частей заключается в том, что катушку подвергают нагреву под давлением и последующему охлаждению, не снимая давления. При нагреве связующие вещества размягчаются и заполняют поры изоляции, а при охлаждении затвердевают и скрепляют провода катушки.

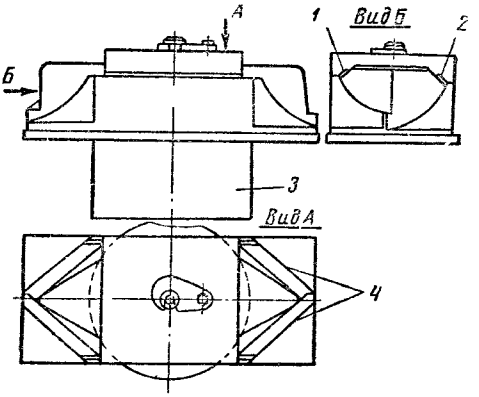


Рис. 30. Приспособление для рихтовки катушек статора

На рис. 30 показано устройство рихтовочного приспособления для жестких катушек с одновременной прессовкой пазовых частей. Катушку после растяжки вкладывают пазовыми частями в пазы *1* и *2* между пуансонами и матрицей приспособления и зажимают посредством пневматического цилиндра *3*. После этого рихтуют лобовые части по желобкам *4* приспособления ударами молотка через фибровую прокладку.

При серийном производстве электрических машин имеются несколько катушек каждого типа машин с незначительной разницей в размерах сечения или различной длины при одинаковой ширине. Чтобы избежать большого числа приспособлений, для прессовки и рихтовки применяют комбинированные приспособления, в которых можно прессовать несколько типов катушек. Это достигается путем внедрения сменных обойм для прессовки пазовых частей или раздвижных шаблонов при разных длинах катушек.

Статорные катушки высоковольтных машин имеют исключительно непрерывную изоляцию, при которой катушки по всей длине оплетаются изоляционными лентами, причем число слоев изоляции в пазовой части обычно больше, чем в лобовых частях. Это объясняется тем, что пробой изоляции между медью и стальным сердечником более вероятен, чем между проводами в

лобовых частях. Непрерывная изоляция дает возможность компаундировать катушку после изолировки, чего нельзя делать при гильзовой изоляции, так как слои гильзы непроницаемы для компаундной массы. Электрическая прочность непрерывной изоляции значительно выше, чем гильзовой, в которой слабым местом являются стыки пазовой гильзы с ленточной изоляцией лобовых частей.

Катушки в процессе производства оплетают не только основной изоляцией, но и временной лентой, которую затем снимают. Так, например, катушки оплетают лентой перед прессовкой и рихтовкой для предохранения изоляции провода от повреждений. Временную ленту наматывают перед каждым компаундированием, чтобы снять наплывы компаундной массы вместе с временной лентой после охлаждения компаундированной катушки.

Катушки изолируют лентами на полуавтоматических изолировочных станках, которые заряжают роликами с лентой, затем вставляют и закрепляют изолируемую катушку; остальные операции производятся автоматически. Существует два типа изолировочных станков. У одних положение механического обмотчика остается неизменным, а движение подачи совершает сама катушка; у других катушка неподвижна, а ролик с лентой обходит ее лобовые и пазовые части в процессе изолировки. Первые применяют для катушек машин средней мощности, вторые — для крупных катушек и для стержней.

На рис. 31 показана кинематическая схема изолировочного станка ЛШ-4, у которого движение подачи совершает катушка (изолировочный станок второго типа описывается в § 26). Станок имеет привод от электродвигателя *8,* который ременной передачей связан с коробкой скоростей *6.* Реверсирование станка для холостого хода осуществляется рукояткой *7;* при этом муфтой *9* отключают изолировочную головку. От главного вала коробки скоростей движение передается в двух направлениях:

через систему зубчатых колес к изолировочной головке *3;* изменение скорости достигается переводом муфты сцепления *9* вправо или влево;

через червячную передачу *5* и две пары зубчатых колес на реечное зацепление, сообщающее поступательное движение каретке станка.

Изолируемая катушка закрепляется головками в катушкодержателях *2* плавающего типа, установленных на каретке станка *1.* Одна сторона катушки через прорезь изолировочной головки вводится в зону изолировки. Изолировка начинается от одной из головок катушки. Сначала изолируется одна лобовая часть, затем пазовая и вторая лобовая часть. При переходе от лобовой части к пазовой катушка поворачивается на угол наклона лобовой части. Это движение осуществляется перекаты-

ванием зубчатых колес z_1 и z_2 по рейке *4*. Головки катушки изолируют вручную.

Станок предназначен для нанесения корпусной изоляции на статорные катушки высоковольтных машин. Производительность его 70—80 катушек в смену; она во многом зависит от прочности и эластичности ленты, которой катушка изолируется.

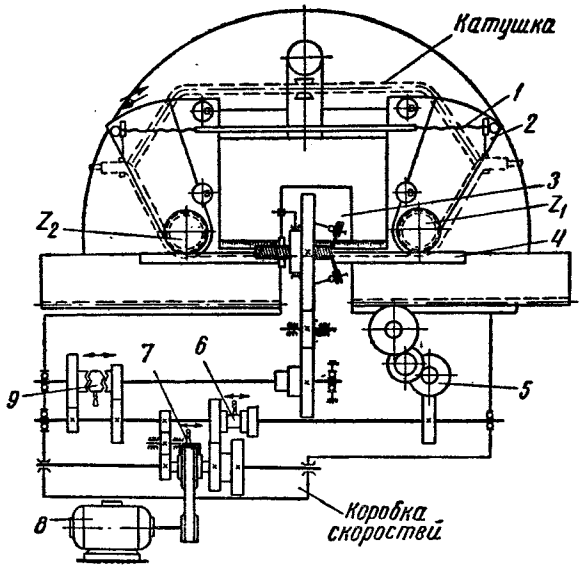


Рис. 31. Кинематическая схема изолировочного станка

Весь технологический процесс изготовления катушек высоковольтных обмоток статора состоит из следующих операций:

1) намотка круглой заготовки с одновременным наложением витковой изоляции;
2) обмотка заготовки лентой под опрессовку;
3) растяжка заготовки в лодочку;
4) первая опрессовка лодочки в гидропрессах;
5) подготовка к первому компаундированию;
6) первое компаундирование лодочки;
7) обдирка временной ленты и обмотка лентой под вторую опрессовку;
8) вторая опрессовка лодочки в гидропрессах;
9) растяжка лодочки в катушку;
10) рихтовка катушки на шаблоне;
11) наложение корпусной изоляции;
12) подготовка ко второму компаундированию;

13) второе компаундирование;

14) обдирка временной ленты, калибровка пазовых частей и зачистка концов.

Операции 1; 2; 3; 4; 6; 8 и 13 механизированы, остальные — выполняют вручную.

Наложение витковой изоляции в процессе изготовления катушки является временной мерой, продиктованной отсутствием обмоточных проводов с достаточно надежной изоляцией. После освоения кабельными заводами проводов ППТБО и других марок с теплостойкой изоляцией процесс наложения витковой изоляции должен быть исключен из технологии электромашиностроительных заводов.

§ 24. ЖЕСТКИЕ КАТУШКИ РОТОРА

В асинхронных двигателях старых серий применяли два типа обмоток ротора: катушечные из круглого провода для двигателей мощностью примерно до 10 *квт* и стержневые для двигателей большей мощности. В единой серии асинхронных двига-

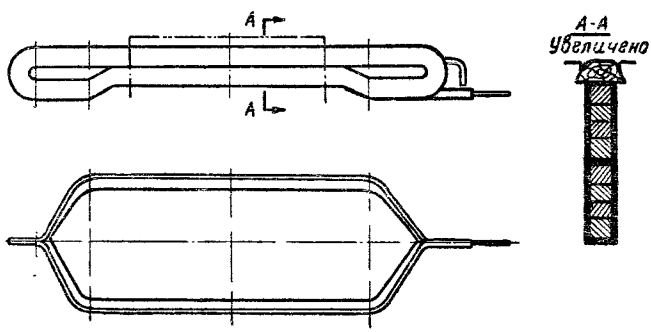


Рис. 32. Катушка роторной обмотки

телей АК впервые в практике электромашиностроения стержневые обмотки в роторах всех двигателей мощностью до 100 *квт* стали выполнять из жестких многовитковых катушек, вкладываемых в открытые пазы ротора (рис. 32). Конструктивная особенность этих обмоток заключается в том, что провода располагаются в один ряд в пазу. Это несколько усложняет процесс намотки катушек, но зато существенно улучшает условия охлаждения, так как каждый провод обеими сторонами граничит со стенками паза.

Катушечные обмотки ротора в двигателях малой мощности имеют следующие преимущества перед стержневыми обмотками:

значительное сокращение числа паек, так как катушечную группу наматывают на шаблоне непрерывным проводом;

устранение операций изолировки стержней и гибки их на роторе, так как катушки наматывают из изолированного провода и они получают окончательную форму до укладки в пазы;

значительное сокращение времени укладки обмотки в пазы.

Для намотки катушечной группы роторной обмотки применяют стальные шаблоны с числом желобков, равным максимальному числу катушек в катушечной группе. При намотке однорядных катушек из тонкого провода снимать намотанную

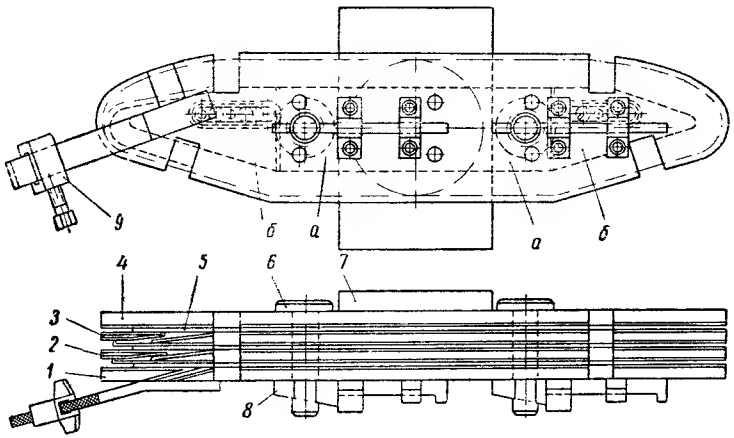


Рис. 33. Намоточный шаблон для роторных катушек

катушечную группу с сердечника шаблона трудно, так как при сильном натяжении провода, необходимом для плотного облегания сердечника, создается большое трение между проводами и сердечником. Вследствие этого необходимо прикладывать большие усилия, под действием которых витки катушки деформируются и их приходится подвергать дополнительной рихтовке, при которой выпадают прокладки из электрокартона между витками и повреждается изоляция проводов.

В шаблонах, применяемых на заводе им. Владимира Ильича (рис. 33), эти недостатки устранены путем изменения конструкции шаблона. К основанию *4* шаблона приварена пластина *7* для крепления его к шпинделю намоточного станка. На основании жестко закреплены два стержня *6*, на которые нанизаны сердечники *5* с промежуточными перегородками *2* и *3* и крышка *1* шаблона. Хомутик *9* служит для закрепления провода. Шаблон имеет три сердечника *5* в соответствии с числом катушек в катушечной группе.

Особенность конструкции шаблона заключается в том, что сердечники выполнены не из одного куска стали, как в шаблонах обычной конструкции, а состоят из средних частей *а* и крайних *б*. Крайние части сердечников имеют возможность продольно перемещаться по овальным пазам. Таким образом, при вынутых средних частях сердечников крайние части могут несколько сдвигаться к центру шаблона.

Части шаблона крепят следующим образом. К крышке *1* прикреплена средняя часть первого сердечника, крайние его части подвижно соединены с перегородкой *2*. К обратной стороне этой перегородки приклепана средняя часть второго сердечника, крайние его части соединены с перегородкой *3*. Наконец, средняя часть третьего сердечника прикреплена к обратной стороне перегородки *3*, крайние части скреплены с основанием *4*.

После намотки катушечной группы выбивают клинья *8* из проушин в стержнях *6* и поднимают крышку *1* шаблона вместе со средней частью первого сердечника. При этом крайние части этого сердечника сдвигают к центру и первую катушку легко снимают с сердечника. Затем удаляют перегородку *2*, после чего освобождается вторая катушка. И, наконец, сняв перегородку *3*, вынимают третью катушку. Собирают шаблон в обратной последовательности. Благодаря такой конструкции шаблона отпали операции рихтовки катушек, увеличилась производительность труда и повысилось качество обмоток.

§ 25. ЖЕСТКИЕ КАТУШКИ ЯКОРЯ

В мягких катушках якоря верхний слой выводных концов катушки выходит из-под петли лобовых частей и для подвода к пластинам коллектора провода приходится перегибать. Это относительно легко сделать в катушках из круглого провода и очень трудно в жестких катушках из прямоугольного провода, так как углы провода могут продавить изоляцию соседних проводов, с которыми они перекрещиваются. Поэтому жесткие катушки обмотки якоря выполняют без перекрещивания выводных концов.

На рис. 34 видно, что нижний слой выводных концов выходит из-под петли лобовых частей, а верхний слой — над петлей. Особенность конструкции катушек из прямоугольного провода заключается в том, что перекрещивание проводов, которое при круглых проводах находится со стороны коллектора, перенесено на другую сторону якоря. Катушка в месте перекрещивания имеет двойную толщину, поэтому и названа катушкой с двойной головкой. Достоинством такой катушки является то, что перекрещивание проводов в двойной головке не очень опасно, так как между головками проложена дополнительная изоляция,

и в процессе укладки в пазы головка катушки не подвергается таким сильным деформациям, как выводные концы.

На рис. 35 показан шаблон для намотки катушки с двойной головкой. По конструкции он гораздо сложнее, чем шаблон для мягких катушек. Шаблон имеет две щеки, причем задняя *1* служит для центрирования и крепления передней щеки *2*, на которой расположены скобы *3* под зажимные клинья. Существенной особенностью этого шаблона является средняя перегородка *4* между сердечниками, которая имеет в верхней или в нижней пазовой части наклонно прорезанный паз *5* для перехода проводов катушки с одного сердечника на другой, соединяющий две противоположные лобовые части разных сердечников. Задний сердечник имеет одну головку.

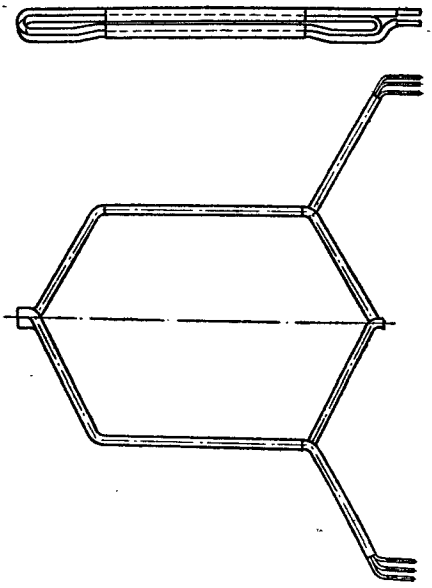


Рис. 34. Катушка якоря с двойной головкой

Намотка жестких катушек из прямоугольного изолированного провода на ребро представляет собой значительно более трудную операцию, чем намотка мягких катушек якоря. Для плотного прилегания проводов к шаблону требуется сильное натяжение проводов при намотке и обязательное подбивание лобовых частей на шаблоне молотком через фибровую прокладку, толщина которой равна ширине паза якоря.

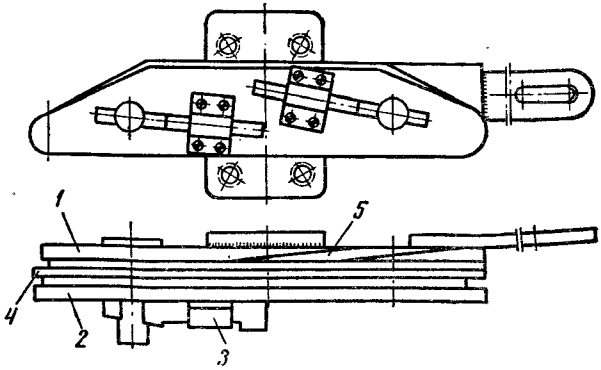


Рис. 35. Намоточный шаблон для катушек с двойной головкой

Катушки наматывают на тихоходных намоточных станках, снабженных мощным приводом с червячной передачей и фрикционом. Передача и фрикцион должны плавно увеличивать скорость и обеспечивать мгновенную остановку шпинделя на любой позиции при помощи ленточного или дискового тормоза. Натяжные плашки для натяга проводов обычно базируются на стойке, заделанной в фундамент станка и имеющей в верхней части П-образную нижнюю металлическую скобу и верхнюю шарнирно укрепленную скобу с натяжным болтом. Между скобами вкладывают деревянные плашки, через которые пропускают обмоточный провод. Растяжка и формовка лобовых частей жестких катушек производятся аналогично соответствующим операциям над мягкими катушками, но требуют значительно больших усилий.

Катушки с двойной головкой, как правило, выполняют двухвитковыми, и поэтому двойная головка получается симметричной (см. рис. 34). При большем числе витков во второй желобок ложится только последний виток и головка получается несимметричной.

В процессе намотки катушка подвергается сильным механическим воздействиям, поэтому для катушек с двойной головкой применяют провода с надежной двойной волокнистой изоляцией марок ПБД или ПДА. Головки катушек дополнительно изолируют лентой из лакоткани и между ними вставляют штампованные из электрокартона прокладки, а затем обе головки оплетают киперной или полотняной лентой.

В якорях диаметром до 150 *мм* иногда нельзя применить обмотки с двойной головкой из-за недостатка места по окружности обмоткодержателя для укладки двойных головок.

ГЛАВА VI

СТЕРЖНИ ОБМОТОК

§ 26. СТЕРЖНИ ОБМОТКИ СТАТОРА

С увеличением мощности электрических машин уменьшается число проводов в пазу. При мощностях в десятки и сотни тысяч киловатт обмотки статора машин переменного тока имеют только по два провода в пазу — по одному в каждом слое обмотки. Однако с увеличением мощности растет ток, протекающий по проводу, а значит, увеличивается и сечение провода. В массивном проводе появились бы вихревые токи, вызывающие дополнительные потери и нагрев провода. Поэтому провод разделяют на несколько параллельных, изолированных один от другого.

В мощных синхронных генераторах один эффективный провод состоит из 40 и более элементарных проводов марок ПДА или ПСД. В крупных машинах катушки обмотки статора достигают огромных размеров и веса, поэтому такие обмотки выполняют из полукатушек и называют *стержневыми*. Применение стержневых обмоток вызывает дополнительные трудности, потому что приходится паять соединения на обоих торцах статора.

На рис. 36 показан стержень обмотки статора, элементарные провода которого переплетены между собой. В нем отдельные участки каждого элементарного провода меняются местами по глубине паза, благодаря чему снижаются потери на вихревые токи. Если бы стержень не был переплетен, то элементарные провода, лежащие на дне паза, имели бы большее индуктивное сопротивление, чем провода, лежащие над ними. Ток между проводами распределялся бы обратно пропорционально их сопротивлениям, что и вызвало бы дополнительные потери. Благодаря переплетению выравниваются сопротивления элементарных проводов.

Переплетение проводов можно выполнить только при двухрядном расположении их в пазу. Как видно из рис. 36, каждый провод имеет изгиб на ребро по длине, равной половине плетеной части стержня L_0. Глубина изгиба равна ширине провода b с припуском 0,5 *мм* для вкладывания изоляционных прокладок между рядами проводов. Изгибы в отдельных проводах смещены на величину t, которая называется *шагом плетения.*

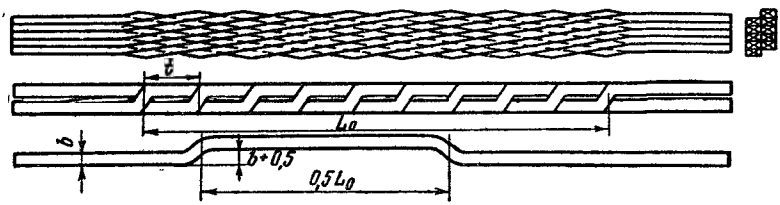


Рис. 36. Стержень обмотки статора

Как видно, на поперечном сечении стержня места двух элементарных проводов остаются незаполненными; их занимают переходы проводов из ряда в ряд. Это необходимо учитывать при определении размеров паза и действительного числа проводов в пазу.

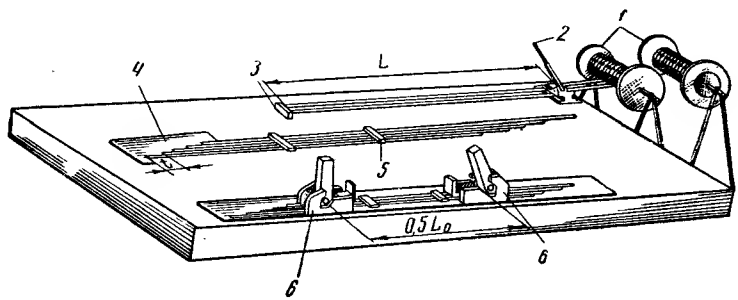


Рис. 37. Приспособление для резания и гибки стержней

Технология заготовки и плетения стержней состоит из следующих последовательно выполняемых операций. Обмоточный провод сматывают с барабанов *1* (рис. 37) и протягивают через фибровый зажим до упора *3*, расположенного от ножниц *2* на расстоянии, равном развернутой длине L стержня. Нарезанные провода в количестве, равном числу элементарных проводов в полустержне, нарезают, рихтуют и упирают в гребенку *4*. Таким образом получают сдвиги между отдельными проводами,

равные шагу плетения t. В таком положении провода скрепляют зажимами *5* и вкладывают в пазы гибочных приспособлений *6*, в которых их изгибают на ребро.

После этого зажимы снимают, а провода сдвигают так, чтобы их торцы находились в одной плоскости. Снова закрепляют полустержень зажимами и приступают к плетению. Полустержень плетут в два приема, начиная от середины. Сначала все провода переплетают в местах первого изгиба, причем второй провод меняется местами с первым, третий со вторым и последний с предпоследним. Второе плетение полустержня выполняют в местах второго изгиба. Заготовку второго полустержня производят аналогично первому.

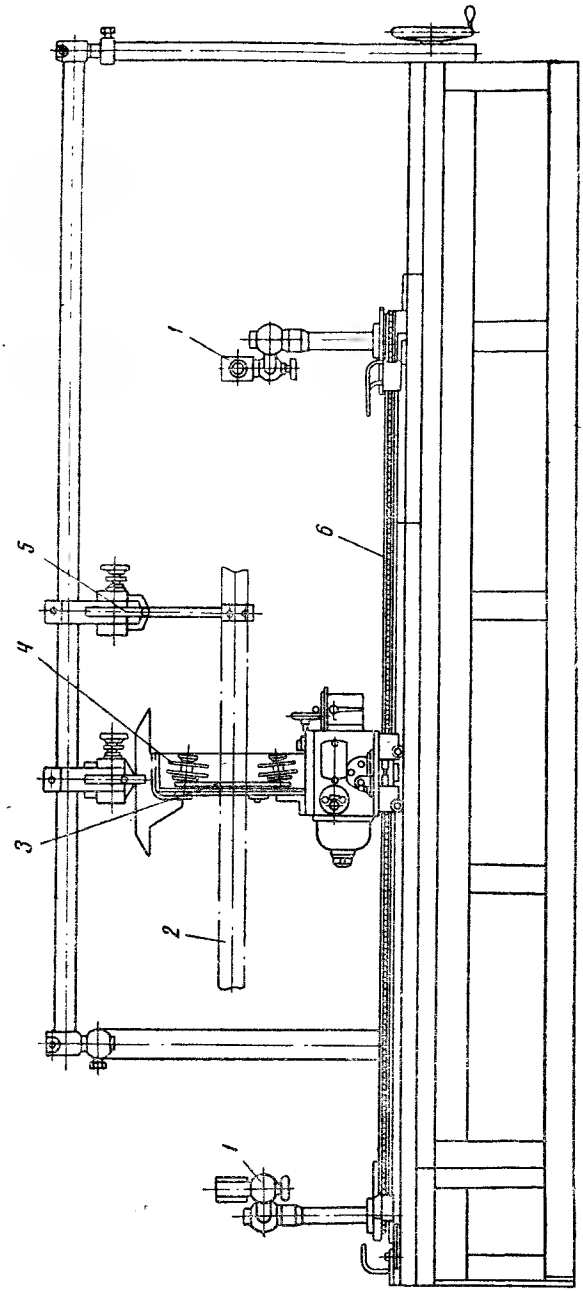
Затем полустержни складывают боковыми сторонами и рихтуют по длине плетеной части, вставив между ними полоски гибкого миканита, составленные в стык. Тупым металлическим ножом приподнимают провода и прокладывают в местах изгибов миканитовые прокладки, а углубления заполняют пропитанной асбестовой бумагой. В процессе изготовления пазовые части стержня прессуют на гидравлических прессах с усилиями, достигающими 200 T в вертикальном направлении и 100 T — в горизонтальном.

Перед прессовкой стержень обматывают киперной лентой и обертывают парафинированной бумагой во избежание прилипания его к стенкам пресс-формы. Нагретый до температуры 140—160° С стержень прессуют. Затем зачищают концы элементарных проводов от изоляции, разводят их с помощью гребенки и проверяют на отсутствие замыканий между ними. В процессе прессовки натяжение киперной ленты ослабевает, поэтому ее снимают и снова изолируют стержень киперной лентой.

Лобовые части гнут ударами стального молотка через фибровую прокладку в шаблонах, зажав пазовую часть эксцентриковыми зажимами. Первое компаундирование стержня производят в автоклавах, чтобы заполнить все воздушные промежутки между проводами. После охлаждения снимают киперную ленту с налипшими на ней излишками компаундной массы, снова обматывают стержень киперной лентой, прессуют пазовые части и рихтуют лобовые части, после чего еще раз проверяют на отсутствие замыканий. Затем снимают временную киперную ленту и передают стержень на изолировку микалентой.

Изолируют стержни на полуавтоматических станках конструкции завода «Электросила», в которых стержень закрепляется неподвижно, а изолировочная головка обходит его лобовые и пазовые части. Сложность конструкции изолировочных станков объясняется тем, что они должны быть универсальны и легко настраиваться на различные размеры стержней.

На рис. 38 показана конструкция станка ЛШ-5, предназначенного для изолировки стержней. Концы стержня *2* зажимают в


1
5
6
4
3
2
1

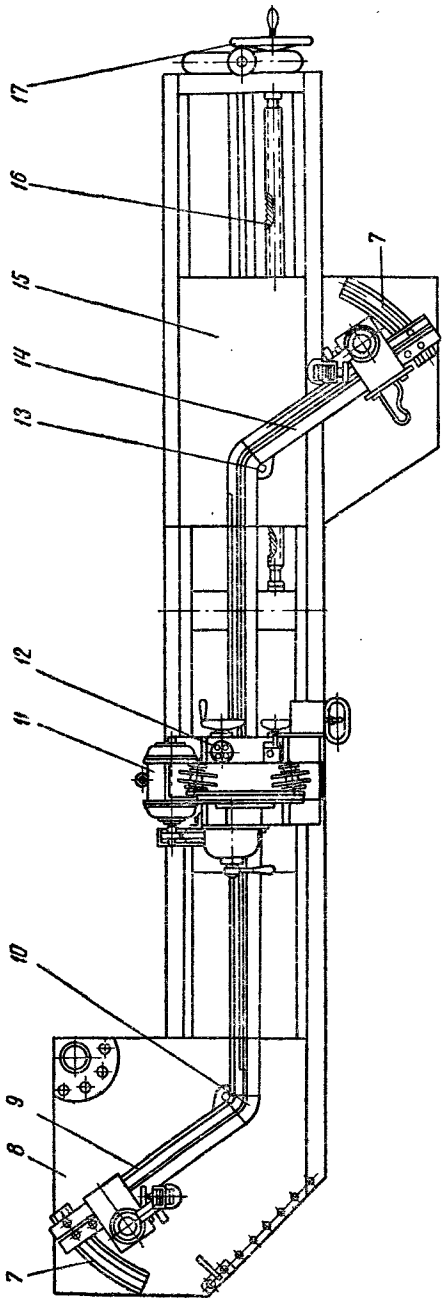


Рис. 38. Станок для изолировки стержней статора

кронштейнах *1*; пазовая часть поддерживается двумя стержнедержателями *5*. Каретка *12*, приводимая в движение электродвигателем *11*, перемещается по копирам и обходит контур стержня. На каретке установлена вращающаяся розетка *3* с четырьмя катушками *4*, на которые надеты рулоны ленты. С двух катушек одновременно на стержень наматывается микалента, а две другие служат для обматывания защитной киперной лентой.

Перемещение каретки осуществляется путем зацепления ее ведущей шестерни с рейкой *6* стола. Розетка приводится во вращение кареткой, при обратных ходах которой розетка может отключаться и оставаться неподвижной. Чтобы лента плотно облегала стержень, катушки расположены под углом к нему. Натяжение ленты создается торможением катушек. Станок приспособлен для обматывания стержня лентой как при прямом, так и при обратном ходе каретки.

Стержень вводят в отверстие розетки, находящейся в крайнем положении, и закрепля-

ют. Он должен быть установлен концентрично с розеткой. Регулируют положение стержня перемещением внутри розетки вращающегося ролика, на который стержень опирается. Скорость движения каретки и вращения розетки согласованы так, что лента наматывается на стержень вполнахлеста.

Перед изолировкой стержней других машин станок перестраивают следующим образом. При удлинении пазовой части отодвигают подвижную часть *15* стола от неподвижной *8* вращением ходового винта *16* с помощью маховичка *17*. Изменение угла между пазовой и лобовыми частями производится поворотом копиров *9* и *14* лобовых частей вокруг осей *13*. Для этого съемной рукояткой поворачивают шестерню на конце копира, находящуюся в зацеплении с зубчатым сектором *7*. После поворота копиров *9* и *14* должны быть сменены вставки *10*.

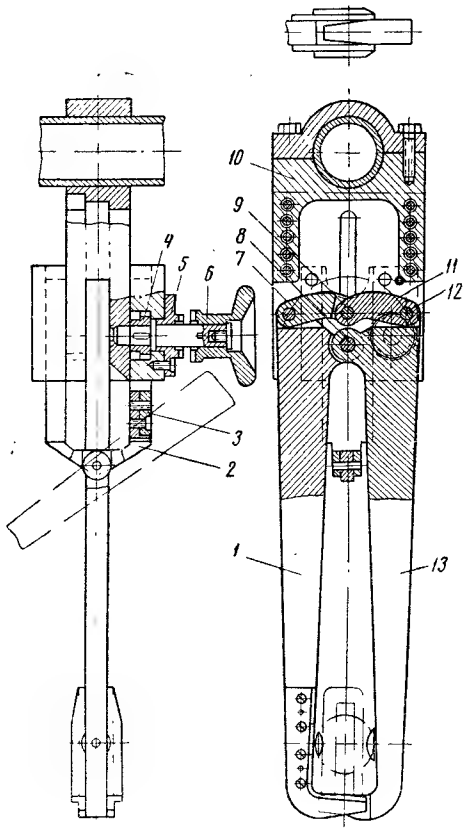


Рис. 39. Стержнедержатель изолировочного станка

Устройство стержнедержателя показано на рис. 39. При подходе розетки обмоточных головок держатель автоматически раскрывается, а затем снова закрывается. Стержень удерживается рычагами *1* и *13*, которые закреплены в корпусе *10* и могут вращаться вокруг оси *8*. Верхние части рычагов связаны шарнирами *7* и *11* с шарнирными осями *9* и *12*. Ось *9* запрессована в подвижную вилку *2* и может перемещаться вместе с ней по направляющему пазу корпуса.

К вилке прикреплена зубчатая рейка *3*, которая находится в зацеплении с шестерней *4*, насаженной на ось маховичка *6*. На торце маховичка нарезаны зубья, которые сцепляются с храповым колесом *5*, жестко связанным с корпусом *10*. При уста-

новке стержня держатели раскрывают, вращая маховичок и поднимая вилку, вместе с которой поднимается и ось *9*. После установки стержня вилку снова опускают, и рычаги *1* и *13* захватывают стержень. Автоматическое раскрытие держателей производится упором, установленным на верхней части розетки. При подходе розетки ролик поднимает вилку и раскрывает рычаги держателя.

Стержень изолируют микалентой в несколько этапов и после каждого из них стержень проходит компаундирование, что способствует лучшему проникновению компаундной массы между всеми слоями микаленты. Для машин напряжением 15 750 *в* стержень изолируют микалентой в четыре этапа. Каждая операция компаундирования сопровождается обматыванием стержня киперной лентой, выполняемым при обратном ходе каретки изолировочного станка. Поверх последних слоев микаленты лобовые части обматывают стеклолентой. По окончании изолировки концы стержней загибают на оправке, обрубают их по размерам и облуживают.

Для испытания изоляции стержня на пробой его обматывают (в полтора оборота) по всей длине фольгой, которую затем плотно закрепляют киперной лентой. Испытательное напряжение подводят к концам стержней и к фольге. Окончив испытания, фольгу и киперную ленту удаляют.

Поверхность обмотки статоров электрических машин напряжением свыше 6000 *в* покрывают полупроводящими лаками 462п с примесью сажи, чтобы устранить явление коронирования. Растворителем является толуол. Полупроводящий лак на поверхности лобовых соединений выравнивает электрическое поле в месте выхода обмотки из паза и повышает величину напряжения, при котором возникает коронирование. Для покрытия пазовой части применяют лак Л9000 с поверхностным сопротивлением 10^4 — 10^6 *ом*, для покрытия лобовых частей — лак Л9001 с поверхностным сопротивлением 10^9—10^{11} *ом*.

§ 27. СТЕРЖНИ ОБМОТКИ РОТОРА

Основным исполнением асинхронных электродвигателей мощностью до 100 *квт* являются двигатели с короткозамкнутым ротором. Однако для приводов с повышенным пусковым моментом применяют двигатели с фазным ротором. В единой серии двигатели с фазным ротором мощностью до 100 *квт* выпускают с катушечными обмотками ротора, описанными в § 24. Асинхронные двигатели большей мощности изготовляют со стержневыми обмотками. Кроме того, со стержневыми обмотками выпускают асинхронные двигатели кранового типа, где исполнение с фазным ротором является основным.

Стержневые обмотки ротора состоят из стержней, которые вставляют в закрытые пазы с торца ротора. Обычно в пазу поме-

щается по два стержня, хотя могут быть двигатели с четырьмя стержнями в пазу. В крупных двигателях сечение стержня прямоугольное. В крановых двигателях применяют прямоугольное сечение стержня, у которого одна узкая сторона скруглена радиусом, равным половине толщины стержня. У стержней верхнего ряда скругление обращено к наружной окружности ротора, а у нижнего — к дну паза (см. рис. 11, *а*).

Обычно роторные обмотки выполняют из голых стержней, которые изолируют после гибки и формовки. Стержни вставляют в пазы с торца ротора, поэтому только одна сторона стержня может быть выгнута. Вторые стороны изгибают на роторе после того, как стержни вставлены в пазы. Напряжение в обмотке ротора обычно не превышает 500 *в*, ввиду чего роторные стержни имеют гильзовую изоляцию.

Производство стержневой обмотки ротора начинается с правки и резки шин для стержней. Эти операции выполняют на специальном станке (см. рис. 4). Большое значение имеет точность длины отрезаемой заготовки, так как это устраняет последующую операцию подрезки концов стержней и экономит медь. Современные отрезные станки позволяют нарезать заготовки с отклонениями длины, не превышающими ± 1 *мм*.

Затем стержни гнут. При серийном производстве приходится гнуть много роторных стержней одинаковой формы, но различных размеров. Чтобы не изготовлять для каждого типа стержня особого гибочного приспособления, применяют универсально-наладочное гибочное приспособление. Оно состоит (рис. 40) из гладкой сварной плиты *11* с продольными пазами под болты *3*. На плите расположены сменные планки *4, 5* и *10,* постоянная планка *2* с упором *1* и рычаг *7* со сменной накладкой *8*.

Сменные планки образуют паз, в который до упора *1* вкладывают две заготовки стержней. Рычаг свободно поворачивается на оси *6,* формует стержни вдоль планки *10,* посаженной на запрессованные в плиту штифты *9*. Для разгрузки штифтов к плите привинчен угольник *12*. На плите и планках нанесены риски с обозначением типов двигателей. Совмещение рисок позволяет установить необходимые размеры стержня. Щель упора *1* выполнена в виде ступеньки, что обеспечивает равную длину стержней после формовки.

При крупносерийном производстве применяют механизированные гибочные станки, исключающие ручной труд. На рис. 41 показан гибочный станок конструкции завода им. Владимира Ильича. На плите станка закреплены два пневматических цилиндра, из которых один *4* с горизонтальным, а другой *1* с вертикальным ходом поршня. Прямолинейную заготовку стержня *3* вставляют до упора в щель между сухарями штампа. Под действием цилиндра *1* пуансон опускается и выгибает лобовую часть

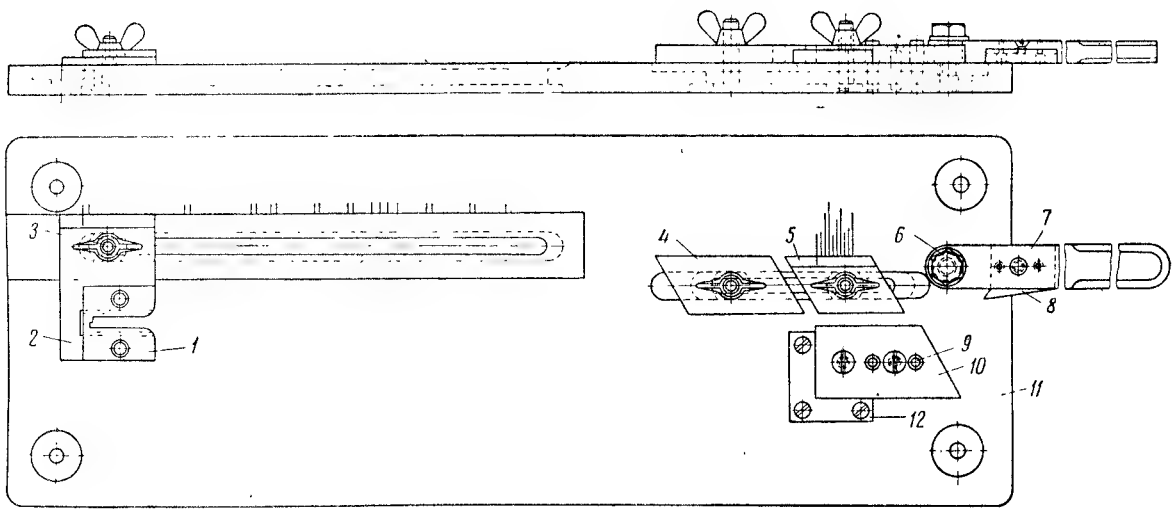


Рис. 40. Приспособление для гибки стержней ротора

стержня по заданному радиусу. Другой цилиндр приводит в движение зубчатую рейку *7*, которая вращает коромысло *6*. Коромысло своими штырями поворачивает рычаги *2* и *5* штампа *8*, отгибающие прямолинейные участки стержня.

Затем пуансон и рычаги штампа поворотом ручки воздухораспределителя возвращаются в исходное положение для гибки следующего стержня. Конструкция гибочного станка предусматривает гибку стержней верхнего и нижнего слоя. Для ограничения хода зубчатой рейки в зависимости от конфигурации стержня и размеров лобовой части служат два упора, закрепленные в плите станка. При переходе к стержням других размеров нужно заменить гибочные штампы. Введение механизированной гибки стержней позволило полностью исключить ручной труд и значительно повысить производительность труда и качество работы.

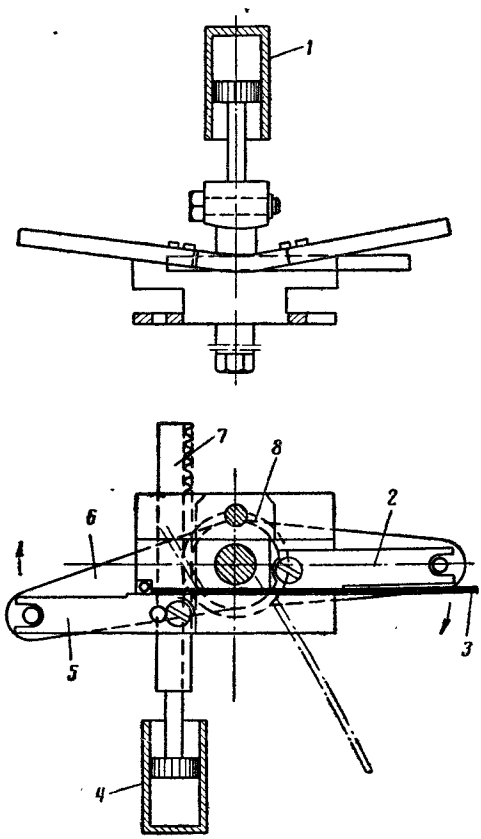


Рис. 41. Гибочкый станок с пневматическим приводом

После окончания гибки приступают к изолировке стержней. В крановых двигателях завода «Динамо» стержень изолируют по всей длине стеклослюдинитовой лентой толщиной 0,1 *мм* вполнахлеста, пазовую часть — простынкой из стеклослюдинита толщиной 0,1 *мм* в пять слоев, лобовую часть — стеклолентой толщиной 0,1 *мм*. Стеклослюдинитовую простынку покрывают глифталевым лаком и укатывают на стержне в горячем состоянии.

На рис. 42 показан станок для укатки изоляции стержня. Пазовую часть кладут в углубление утюга *1* с электрическим подогревом, а отогнутую лобовую часть вставляют в отверстие вращающейся планшайбы *2*. Сверху вращающийся стержень прижимается утюгом *3*, который совершает колебательные движения

вокруг оси *5*. Для закладки и выемки стержней верхний утюг приподнимают вилкой *4*, приводимой в движение от ножной педали *6*.

После укатки пазовые части прессуют в горячих пресс-формах, в которые закладывают по несколько стержней. При нагревании клеящий лак разжижается и растворитель испаряется. Этот процесс называется *выпечкой изоляции* стержней. Стержни выдерживают под прессом до остывания.

В двигателях единой серии мощностью свыше 100 *квт* для пазовых гильз роторных стержней применяют стеклоэскапоновую лакоткань, представляющую собой стеклянную ткань, пропитанную и покрытую слоем эскапонового лака. Преимущества стеклоэскапоновой лакоткани перед хлопчатобумажной заключаются в повышенной эластичности, влагостойкости, нагревостойкости, механической прочности и стойкости против плесневых грибков. Последнее позволяет использовать машины в тропическом климате.

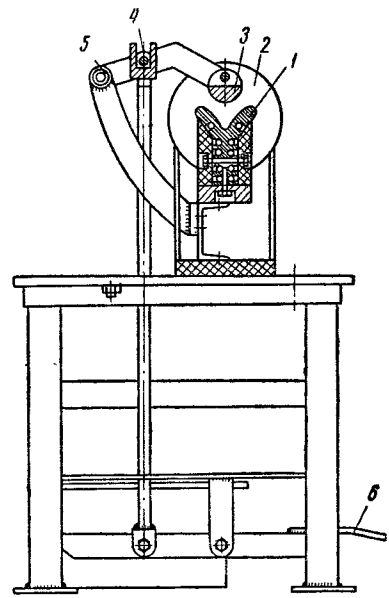


Рис. 42. Станок для укатки изоляции стержня

§ 28. СТЕРЖНИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Стержневые обмотки якоря отличаются от катушечных тем, что они имеют только один виток. Поэтому их не наматывают на шаблонах, а выгибают в гибочных приспособлениях. При сечении провода до 20—30 *мм*^{2} применяют обмоточные провода с изоляцией, а при бо́льших сечениях — голые медные шины, которые изолируют после гибки.

Обмотки из шинной меди бывают *неразрезными* (рис. 43, *а*), когда весь виток выгнут из целого провода, и *разрезными* (рис. 43, *б*), состоящими из полувитков. У разрезных обмоток необходимо паять верхний и нижний слой проводов со стороны, противоположной коллектору, что усложняет процесс обмотки якоря. Поэтому разрезные обмотки применяют только в крупных машинах, у которых неразрезной виток был бы очень громоздким и неудобным для вкладывания в пазы якоря.

У многовитковых катушек обмотки якоря выводные концы выгибают при укладке катушек в пазы. Поэтому одни и те же катушки пригодны как для петлевых, так и для волновых обмоток. Выводные концы стержневых обмоток получают окончательную форму при гибке катушек, ввиду чего для петлевых и волновых обмоток они различны.

Процесс изготовления стержней неразрезной обмотки якоря начинается с резки заготовок по размеру развернутой длины

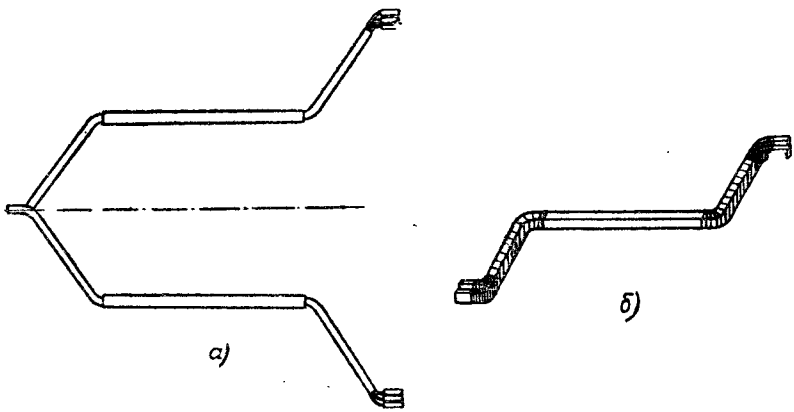


Рис. 43. Обмотки якоря:
а — неразрезная, *б* — разрезная

стержня. Затем их гнут на ребро в месте образования головки стержня. При этом ветвь петли, лежащей в верхней части паза, должна быть длиннее нижней вследствие разной длины лобовых частей.

Раньше стержни гнули по одному на примитивных гибочных станках. В настоящее время шины гнут на станках с механическим или пневматическим приводом, которые сразу выгибают комплект шин, расположенных в одном пазу. Затем выгибают остальные переходы стержня на гибочных приспособлениях; в них стержень гнется плашмя и поэтому со значительно меньшими усилиями.

При крупносерийном производстве применяют специальные станки, которые за один ход дают готовый стержень. На рис. 44 показан станок завода «Электрик» с пневматическим приводом для пространственной гибки стержней неразрезной петлевой обмотки из шинной меди сечением 2,44×10,8 *мм*^{2}. Гибка производится в полом цилиндре *8* с колодкой *6*, который при помощи шпонок *10* неподвижно закреплен в стойках *11*. На цапфах цилиндра могут вращаться зубчатые колеса *4* и *9*, сцепленные с рей-

ками *17* и *15*. Рейки соединены траверсой *16* и приводятся в движение пневматическим цилиндром *III*.

При движении траверсы вправо зубчатые колеса будут поворачиваться против часовой стрелки и увлекать за собой планку *18*, которая скользит по окружности цилиндра. В полые цапфы цилиндра *8* вставлены шейки коленчатого вала *3*, на котором установлен ограничитель *7*. На концах шеек насажены на шпонках *2* зубчатые колеса *1* и *12*, сцепленные с рейками *19* и *14*, ко-

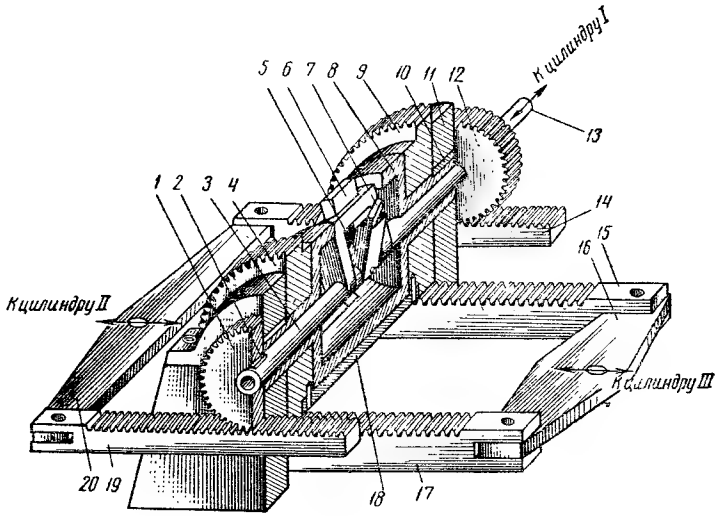


Рис. 44. Станок для пространственной гибки стержней якорных обмоток

торые соединены траверсой *20* и приводятся в движение пневматическим цилиндром *II*. При движении траверсы влево коленчатый вал повернется по часовой стрелке. Благодаря встречному вращению планки *18* и коленчатого вала *3* происходит пространственная гибка стержня на специальных шаблонах.

В станок вставляется заготовка в форме согнутой на ребро шины и зажимается между шаблоном и рычагом *5*, который движется вдоль оси станка под действием пневматического цилиндра *I*, соединенного с рычагом при помощи штока *13*.

Корпусная изоляция стержневой обмотки обычно гильзовая из бакелизированной бумаги для класса А и микафолия для класса В. Витковая изоляция стержней состоит из микаленты вполнахлеста.

В проводах обмотки якоря протекает переменный ток и поэтому в сечении провода появляются дополнительные потери, ко-

торые зависят от его высоты. При высоте провода, превышающей так называемую *критическую,* зависящую от частоты тока в якоре, провод разделяют по высоте на два.

На рис. 45 показан разрез паза якоря с одновитковой обмоткой из разделенных проводов *1*. Эти провода, являющиеся параллельными, на разрезе паза условно соединены вертикальными черточками. Обмотки с разделенными проводами особенно трудно гнуть и изолировать. На рисунке показана изоляция из микаленты *2* вокруг каждого провода, микаленты *3* и киперной ленты *4* вокруг составного стержня обмотки, пазовой гильзы *5*, прокладок из электрокартона *6*. Изоляция под бандаж *9* состоит из гибкого миканита *7* и электрокартона *8*.

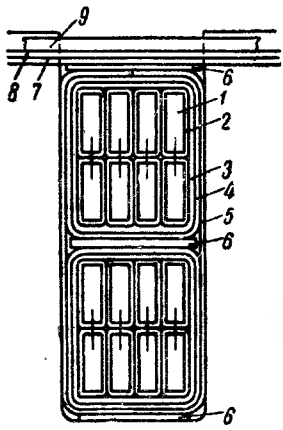


Рис. 45. Разрез паза якоря

Для создания витковой изоляции каждый провод должен быть оплетен микалентой толщиной 0,1 *мм* вполуперекрышку. Изоляция занимает значительную часть ширины паза. Например, если толщина провода 1,08 *мм*, а изоляция микалентой на обе стороны 0,4 *мм*, то на витковую изоляцию приходится $\frac{0{,}4}{1{,}08} \cdot 100 = 37\%$ толщины меди. Между тем напряжение между смежными проводами не превышает 40 *в*. Для сокращения затрат дорогого изоляционного материала и труда на изолировку иногда изолируют провода через один. При обмотке из разделенных по высоте проводов изолированные провода в пазу располагают в шахматном порядке.

Попытки изолировать соседние провода друг от друга прокладками не увенчались успехом, так как прокладки невозможно удержать по всему периметру провода.

ГЛАВА VII

ПОЛЮСНЫЕ КАТУШКИ

§ 29. ТИПЫ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Катушками полюсов называются обмотки возбуждения, которые наматывают на станках, изолируют и пропитывают, а в процессе сборки машин надевают на сердечники полюсов. По назначению их разделяют на катушки главных и добавочных полюсов машин постоянного тока и катушки полюсов синхронных машин. Первые являются неподвижными, а вторые устанавливаются на вращающемся роторе. Действие центробежных сил на вращающуюся катушку предъявляет определенные требования к ее конструкции и исполнению.

Основное технологическое различие катушек определяется формой и размерами провода, из которого они намотаны. Для полюсных катушек применяют изолированные провода круглого (до 7 *мм*^{2}) и прямоугольного (до 16 *мм*^{2}) сечения. При сечении провода более 20 *мм*^{2} катушки наматывают из голых медных или алюминиевых шин. Катушки из изолированного провода и из шин резко отличаются по технологии намотки и изолировки.

В катушках из изолированного провода межвитковой изоляцией служит изоляция самого провода. Однако в отдельных местах, как, например, в переходах между слоями, она нуждается в усилении путем обматывания лентами или вкладывания прокладок из листовых изоляционных материалов.

Катушки из голых шин могут быть намотаны плашмя или на ребро, а межвитковую изоляцию выполняют в процессе их изготовления. В отличие от шинных катушек обмотки якоря, у которых каждый провод обматывают лентой по всему контуру витка, полюсные катушки из голых шин не являются такими трудоемкими. В катушках, намотанных на ребро, изоляцию между витками вставляют в виде прокладок; при намотке плашмя междувитковую изоляцию наматывают на станке в процессе намотки самой катушки, поэтому она не требует затраты дополнительного времени.

§ 30. КАТУШКИ ИЗ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Для намотки катушек из тонкого провода применяют легкие быстроходные станки со скоростью вращения до 5000 *об/мин*. Их всегда снабжают счетчиками оборотов, по которым отсчитывается число витков. Сделав требуемое число оборотов, а также при обрыве провода станок автоматически останавливается. Станки оборудуют автоматическими приспособлениями, вкладывающими бумажные прокладки между слоями катушки. Все

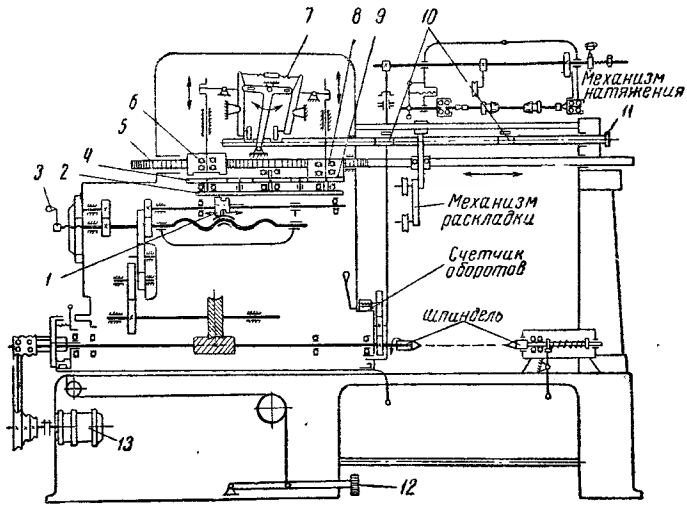


Рис. 46. Кинематическая схема станка для намотки катушек

быстроходные станки имеют механизм автоматической раскладки, который укладывает провода правильными рядами. Эти приспособления значительно облегчают работу и позволяют осуществить одновременное обслуживание одним рабочим нескольких станков.

На рис. 46 показана кинематическая схема полуавтоматического намоточного станка для рядовой многослойной намотки катушек из круглого провода диаметром 0,07—0,6 *мм*. Шпиндель снабжен устройством регулировки скоростей в пределах 850—4900 *об/мин*. Станок имеет два сблокированных движения: вращение шпинделя и периодическое возвратно-поступательное движение механизма раскладки. Привод станка осуществляется от электродвигателя *13*. Механизм раскладки работает от вала шпинделя через зубчатые передачи и фрикционную передачу, со-

стоящую из диска *2* и ролика *1*, положение которого относительно диска может изменяться вращением рукоятки *3*.

Зубчатые колеса *4* и *9* вращаются в разные стороны. Соосные шестерни *6* и *8* поочередно входят в зацепление с ними и сообщают рейке *5* механизма раскладки возвратно-поступательное движение. Переключение шестерен производится упорами *10*, установленными на штанге *11*, через систему рычагов механизма реверса *7*. Упоры устанавливают в соответствии с длиной наматываемой катушки, а шаг раскладки устанавливается положением ролика *1* относительно диска *2*. Включение станка производится педалью *12*.

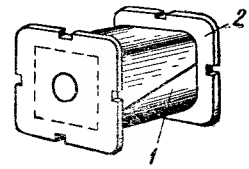


Рис. 47. Намоточный шаблон для полюсной катушки

В старых типах машин катушки полюсов из тонкого провода наматывали на каркасы, представляющие собой коробки из листовой стали, склепанные или сваренные. Каркас надежно защищал витки катушки от повреждения сердечником полюса, но затруднял пропитку катушки и не позволял осуществить непрерывную изоляцию ее наружной поверхности. Поэтому в современных машинах катушки наматывают на шаблоны из твердых пород дерева или алюминия.

Шаблон (рис. 47) состоит из сердечника *1* и двух боковин *2*. Сердечник разрезан на две части в диагональной плоскости, что облегчает съем катушки после намотки. В боковинах сделаны вырезы, в которые закладывают ленту для скрепления витков катушки перед снятием ее с шаблона.

Для намотки многовитковых полюсных катушек применяют почти исключительно круглые провода с эмалевой изоляцией. Катушка после намотки должна быть жесткой, и витки ее не должны рассыпаться. Между тем пропитка катушек из эмалированных проводов часто сопровождается нарушением эмалевой изоляции и занимает много времени.

Наиболее прогрессивным является провод с особой эмалевой изоляцией, которая спекается при нагреве до температуры 130—160° С в течение 15—20 мин. Этот провод обеспечивает жесткость катушек и не требует пропитки. Для намотки таких катушек нужны намоточные станки, обеспечивающие плотную рядовую намотку с корректировкой допусков по диаметру обмоточного провода и толщине его изоляции.

При намотке катушек на шаблон прямоугольного сечения плотность прилегания витков в разных точках периметра шаблона неодинакова. Наибольшая плотность будет в углах шаблона, а наименьшая — в середине боковых сторон катушки, где провода стремятся выпучиваться. Поэтому при расчете обмоточного

пространства шаблона необходимо учитывать коэффициент распушения.

При сплошной намотке катушек из тонкого провода без соблюдения правильных рядов площадь поперечного сечения F катушки на боковой стороне шаблона определяется по формуле

$$F = nd_{из}^2 k_1, \tag{5}$$

где n — число витков;

$d_{из}$ — диаметр изолированного провода;

k_1 — коэффициент распушения; для катушек из эмалированного провода его берут 1,1, из провода с волокнистой изоляцией — 1,05.

При рядовой намотке толщина b и высота h сечения катушки равны:

$$b = n_1 d_{из} k_2; \tag{6}$$

$$h = n_2 d_{из} k_2, \tag{7}$$

где n_1 — число слоев катушки;

n_2 — число проводов в слое;

$d_{из}$ — диаметр круглого провода или размер стороны прямоугольного изолированного провода, *мм*;

k_2 — коэффициент распушения; для круглого провода его берут 1,04, для прямоугольного — 1,07.

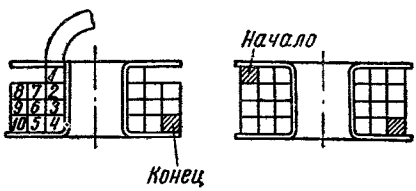


Рис. 48. Схема намотки полюсной катушки

В катушках из изолированного провода вывод от начала намотки на наружную поверхность катушки выполняют медной лентой, которую припаивают к первому витку и огибают им сечение катушки. Под медную ленту подкладывают изоляцию из электрокартона и лакоткани. При большом сечении провода медную ленту приходится выбирать очень широкой для получения необходимого сечения. Толщину ленты обычно берут не более 1 *мм*, так как при большей толщине ленту трудно выгибать и она займет много места по высоте катушки.

В катушках из изолированного провода прямоугольного сечения можно избавиться от выводной ленты, если использовать для намотки катушки особый прием, показанный на рис. 48. Сначала отматывают от бухты обмоточной меди провод длиной, равной развернутой длине витков одного горизонтального ряда катушки. Отмотанный провод свертывают в спираль и привязывают к боковой стороне намоточного шаблона. Затем заводят провод в намоточный шаблон и начинают наматывать витки в последовательности, обозначенной на рисунке цифрами *1—10*. При этом один

горизонтальный ряд катушки остается незаполненным проводами. Чтобы витки не попадали в это пространство, к боковой стороне шаблона прикрепляют дистанционные прокладки.

После этого отрезают провод от бухты, разматывают спираль с привязанным к шаблону проводом и при вращении шаблона в противоположную сторону доматывают этим проводом витки в оставшееся свободное место, вынув предварительно дистанционные прокладки. Таким образом, оба выводных витка оказываются на поверхности катушки и делать вывод при помощи припайки медной ленты не требуется. Отсутствие места пайки внутри катушки повышает ее надежность в работе.

Нельзя считать число витков катушки по числу сечений проводов в разрезе, потому что слои катушки представляют собой не кольцевые замкнутые витки, а спирали правого и левого хода, чередующиеся в соседних слоях. Сделав один виток вокруг шаблона, мы занимаем два сечения провода в разрезе катушки. Следовательно, в каждом слое одно сечение провода является лишним, не образующим витка. Таким образом, действительное число витков меньше, чем видно на разрезе катушки, на число слоев. Так, например, катушка, показанная на рис. 48, имеет не 12, а только 9 витков. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструировании катушек и намоточных шаблонов.

После снятия с шаблона многовитковые катушки из тонкого провода обматывают лентой по всему контуру для скрепления витков. В машинах на повышенное напряжение и с противосыростной изоляцией изолировку лентами применяют и для жестких катушек для снижения токов утечки и повышения влагостойкости катушек. Сначала витки катушки скрепляют асбестовой лентой, затем катушку изолируют микалентой. Снаружи микаленту защищают киперной лентой.

Изолировка полюсных катушек лентой является очень трудоемкой операцией. В процессе изолировки приходится ролик с лентой два раза перекладывать из одной руки в другую, чтобы провести его через внутреннее окно катушки. Особую трудность представляет изолировка катушек дополнительного полюса, так как рука изолировщицы не проходит в узкое окно катушки и приходится пользоваться проволочными крючками.

Производительность труда при изолировке повысилась при внедрении изолировочных станков. Сначала эти станки применялись на заводах автотракторного электрооборудования для намотки небольших катушек, а затем и на других предприятиях для изолировки крупных катушек.

На рис. 49, *а* показан изолировочный станок. Катушку *3* кладут на столик *1* и включают станок, поворачивая ее поочередно всеми четырьмя сторонами. При работе станка вокруг стороны катушки вращается разрезное кольцо *2*, наматывая на нее ленту.

На рис. 49, *б* изображена схема работы станка. Лента с ролика *4* проходит через ролики *5*, цилиндрический нож *6* и попадает на разрезное кольцо *2* станка, на поверхности которого расположены ролики *7*. Конец изоляционной ленты закрепляют на катушке *3*, которую вводят через прорезь разрезного кольца *2*. При вращении разрезного кольца лента наматывается одновременно на обод кольца и на изолируемую катушку.

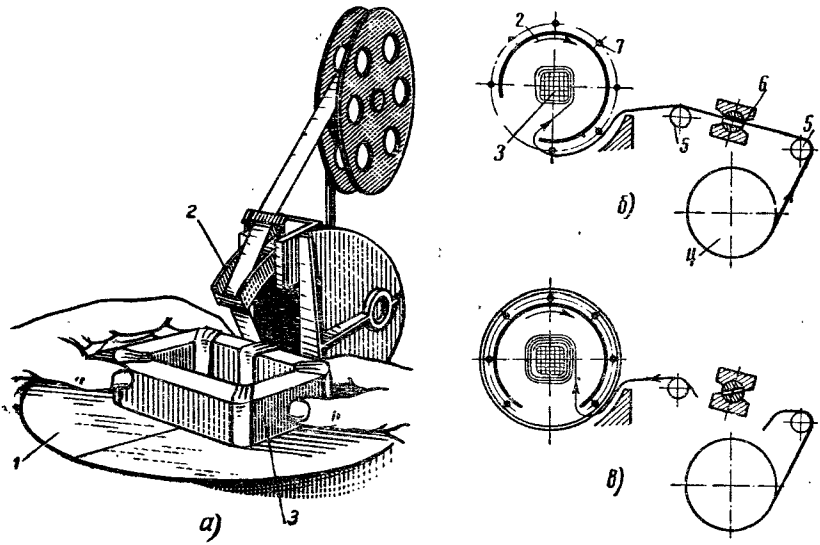
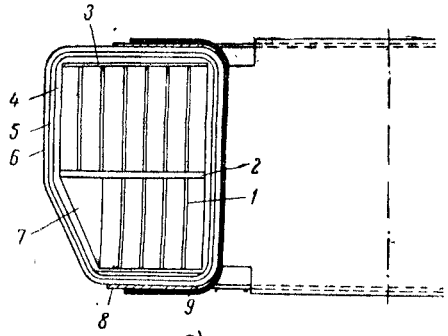


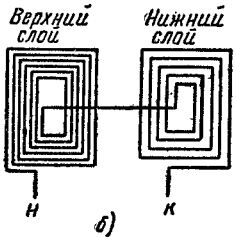
Рис. 49. Изолировка полюсной катушки:
а — изолировочный станок, *б* — схема работы станка, *в* — перерезание ленты

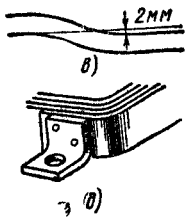
После того как на кольце соберется необходимое количество ленты для изолировки катушки, ленту перерезают поворотом цилиндрического ножа *6*, как показано на рис. 49, *в*, и продолжают изолировку катушки. В станках для изолировки тяжелых катушек в стол станка врезают ролики, выступающие над его поверхностью. Ролики облегчают передвижение катушки по столу станка.

§ 31. ШИННЫЕ КАТУШКИ, НАМОТАННЫЕ ПЛАШМЯ

Шинные катушки, намотанные плашмя, применяют на главных полюсах машин постоянного тока с последовательным возбуждением. Такая катушка (рис. 50, *а*) имеет ступенчатую форму и состоит из двух слоев шин, расположенных один над другим. В качестве изоляции между витками в каждом слое служит асбестовая бумага *1*, которая в процессе намотки катушки сматывается с ролика, установленного под шаблоном. Изоляцией меж-







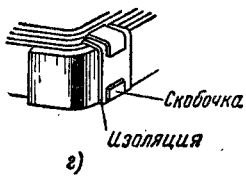


Рис. 50. Шинная катушка, намотанная плашмя:

а — разрез катушки, *б* — схема намотки, *в* — перегиб шины, *г* — крепление последнего витка, *д* — выводной патрон

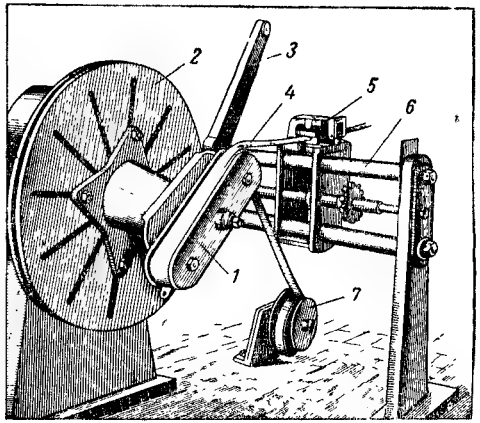


Рис. 51. Станок для намотки шинных катушек

ду слоями служит так называемая фанерка *2*, состоящая из твердого миканита, оклеенного с обеих сторон асбестовой бумагой. Изоляция катушки относительно корпуса состоит из миканитовых фланцев *3*, асбестовой ленты *4*, микаленты *5* и киперной ленты *6*.

Угловые пустоты, образуемые вследствие разных чисел витков в верхнем и нижнем слоях, заполняют асбестовой замазкой *7*. Для предохранения изоляции катушки от протирания о полюс служит каркас *9* из тонкой листовой стали, который вставляют в отверстие катушки перед сборкой ее на полюс, и выступающие края отгибают на катушку. Для защиты изоляции от проколов служат фланцы *8* из картона.

Для определения толщины катушки надо сумму толщин медных шин и изоляционных материалов в слое умножить на коэффициент распушения k_3, который выбирают в зависимости от толщины шины. При толщине 0,3—1,16 *мм* коэффициент распушения равен 1,2; при толщине 1,25—1,59 *мм* коэффициент k_3 составляет 1,1 и при толщине 2,1 *мм* коэффициент k_3 равен 1,06.

Чтобы определить число сечений шин в разрезе катушки, необходимо построить схему намотки верхнего и нижнего слоев. Как видно из схемы (рис. 50, *б*), число сечений на правой и левой сторонах неодинаково и поэтому катушка получается несимметричной относительно оси.

Если посчитать по схеме число фактических витков, то оно оказывается равным 11, а не 12, как это получается при суммировании сечений шин на чертеже разреза катушки (рис. 50, *а*). На схеме намотки видно, что выводные концы получаются расположенными в наружных витках катушки. Очевидно, что это будет только при четном числе слоев, поэтому не следует применять катушек с нечетным числом слоев.

Для намотки шинных катушек применяют мощные тихоходные намоточные станки. На боковых сторонах намоточного шаблона делают углубления для того, чтобы путем подбивания шин устранять их выпучивание.

На рис. 51 показан станок для намотки шинных катушек. Шаблон *1* укрепляют на стойке, привинченной болтами к планшайбе *2* станка. Медная шина *4* идет со стойки и проходит через зажимное приспособление *5*, укрепленное на суппорте станка. Под суппортом помещается катушка *7* с асбестовой лентой, которая наматывается на шаблон вместе с медной шиной и создает изоляцию между витками.

При намотке шинных катушек суппорт остается неподвижным. Его используют при намотке на станке катушек из прямоугольного изолированного провода. На этом же станке можно наматывать небольшие катушки на ребро. Для этого станок снабжен рычагом *3*, который может вращаться вокруг вала *6* и направлять шину при загибе ее на углах шаблона. Станок обо-

рудован тормозом, и при остановке планшайбы медная шина остается под натяжением. Включение станка производится ножной педалью.

Для изготовления катушки, изображенной на рис. 50, *а*, необходимо:

перегнуть шину на ребро в месте перехода (рис. 50, *в*) на расстоянии 200—300 *мм* от конца;

намотать верхний слой катушки с изоляционными прокладками между витками;

скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести (рис. 50, *г*), запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;

перевернуть шаблон другой стороной;

вставить изоляционную прокладку *2* между слоями;

приварить (переносным сварочным аппаратом) конец шины от бухты к месту перегиба;

намотать второй слой катушки с изоляционными прокладками между витками;

скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести, запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;

испытать катушку на межвитковые замыкания;

изготовить и припаять выводные патроны (рис. 50, *д*);

заполнить угловые пустоты асбестовой замазкой *7* (рис. 50, *а*), вложить миканитовые фланцы *3* сверху и снизу катушки, изолировать катушку асбестовой лентой *4* и поверх нее временной полотняной лентой в стык;

компаундировать катушку первый раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

прессовать катушку в горячем состоянии;

испытать катушку на межвитковые замыкания;

изолировать катушку микалентой *5*, киперной лентой *6* и временной полотняной лентой;

компаундировать катушку второй раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

покрыть поверхность катушки покровным лаком при помощи кисти;

прессовать катушку в горячем состоянии;

очистить выводные патроны от битумной массы и промыть их бензином;

нанести обозначения выводов катушек красной краской;

испытать катушку на межвитковые замыкания и проверить размеры катушки по чертежу.

§ 32. ШИННЫЕ КАТУШКИ, НАМОТАННЫЕ НА РЕБРО

Шинные катушки, намотанные на ребро, применяют на дополнительных полюсах машин постоянного тока и в синхронных генераторах с явно выраженными полюсами. Эти катушки более

плотны и компактны, чем другие типы полюсных катушек. В синхронных генераторах это особенно важно потому, что центробежная сила передается виткам катушки через большую опорную плоскость. Это исключает возможность межвитковых замыканий при вращении ротора. В изготовлении эти катушки удобны тем,

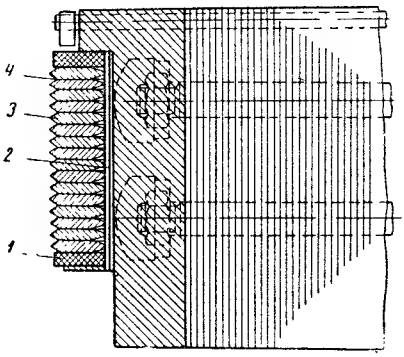


Рис. 52. Катушка синхронного генератора

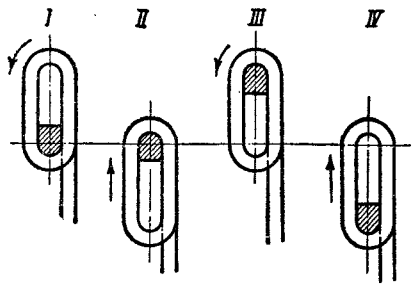


Рис. 53. Схема намотки катушки на ребро

что процесс намотки можно вести, не считая витков, так как после спираль может быть разрезана на отдельные катушки. Это позволяет значительно повысить коэффициент использования намоточного станка. Катушки, намотанные на ребро, — однослойные, что способствует хорошему и равномерному охлаждению всех витков.

Катушка синхронного генератора показана на рис. 52. Изоляцией от корпуса являются два фланца *1* из текстолита и несколько слоев микафолия *2,* которым обернут сердечник полюса. Наружная поверхность катушки открыта для лучшего охлаждения. Чтобы увеличить поверхность охлаждения, наружной стороне *3* витков придали форму треугольника. Изоляция *4* между витками состоит из прокладок асбестовой бумаги, пропитанных в битуме.

Катушки, намотанные на ребро, имеют два исполнения: двухрадиусные с двумя закруглениями под углом 180° и четырехрадиусные с четырьмя закруглениями под углом 90°. Первые применяют для дополнительных полюсов машин постоянного тока и для синхронных явнополюсных генераторов, вторые — для главных полюсов тяговых двигателей постоянного тока. Чтобы намотать четырехрадиусные катушки, требуется намоточный станок более сложной конструкции. Такая намотка создает затруднения при загибе шин с малым радиусом закругления.

Технология намотки катушек на ребро сложнее, чем намотки

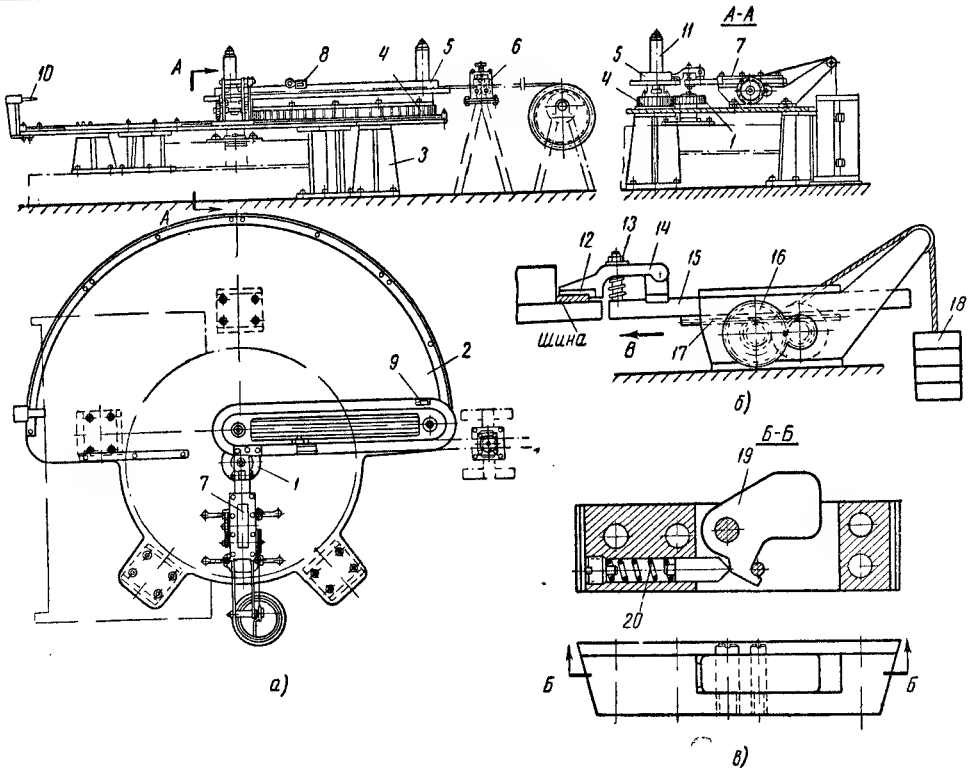


Рис. 54. Намотка катушки на ребро:
а — намоточный станок, *б* — направление шины, *в* — фиксатор

плашмя. Чтобы согнуть шину на ребро, необходимо усилие в несколько раз большее, чем для изгиба ее плашмя. Поэтому требуется бо́льшая мощность станков. Изгиб на ребро вызывает утолщение шины на внутренней стороне закругления.

Утолщения шин в местах закругления снимают путем опиливания или фрезерования каждого закругления с обеих сторон.

Для направления шины служат специальные направляющие, расположенные в непосредственной близости к месту загиба шины. При намотке на шаблон шина должна занимать положение, касательное к радиусу закругления, а шаблон должен совершать вращательные и поступательные движения.

При намотке одного витка (рис. 53) намоточный шаблон совершает следующие движения (на чертеже одна сторона шаблона заштрихована):

Шаблон начинает поворачиваться вокруг центра заштрихованной стороны на 180° и приходит в положение *II*.

Шаблон движется поступательно до тех пор, пока незаштрихованная сторона не придет в положение заштрихованной.

Шаблон поворачивается на 180°.

Шаблон совершает поступательное движение и приходит в исходное положение *I*.

На рис. 54, *а* показана конструкция намоточного станка завода «Электросила» для намотки на ребро катушек крупных электрических машин. На планшайбе станка на тумбах *3* установлена плита *2*, на которой смонтированы рабочая оснастка и отдельные приспособления. В центре планшайбы закреплена шестерня *1*. С нею находится в зацеплении фасонная шестерня *4*, состоящая из двух полуокружностей и двух реек. Она имеет продольный паз, которым надета на цапфу, закрепленную в плите. Во время работы станка шестерня *4* совершает попеременно вращательные движения на 180° и прямолинейные движения на длину реек, скользя своим основанием по плите.

На шестерне *4* укреплена оправка *5*, на которую наматываются витки катушки. Конец шины захватывается зажимом *8*, укрепленным на оправке. Медная шина сматывается с бухты, пропускается через натяжное устройство *6* и затем проходит через планку хобота *7*. Хобот служит для прижима шины к оправке во время намотки.

Под действием груза *18* (рис. 54, *б*), который подвешен на тросе, перекинутом через блок, штанга *15* с головкой хобота *14* имеет постоянное натяжение в направлении стрелки *В*. Натяжение передается через пару цилиндрических шестерен *16* и реечное зацепление *17*. В головке хобота укреплена сменная закаленная планка *12*, охватывающая медную шину с двух сторон. Шина все время прижимается к оправке под действием усилия, зависящего от веса груза *18*. В вертикальном направлении шина прижимается гайкой *13*.

теми же, какими они были при последовательном соединении. Это достигается соответствующим присоединением выводов катушечных групп к соединительным проводам. Направления токов и полярность полюсов обозначены на схемах (рис. 79).

В двухслойных обмотках наибольшее возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов:

$$a_{\text{макс}} = 2p. \tag{14}$$

Рассматривая схему (рис. 78), можно заметить, что в 6-м пазу направления токов в верхнем и нижнем проводах встречные. То же самое можно наблюдать в других пазах, отстоящих от 6-го паза на величину диаметрального шага, т. е. в 12 и 18-м пазах и т. д. Это всегда наблюдается в обмотках с укороченным шагом.

В каждой зоне между двумя полюсными делениями будут пазы со встречным направлением токов. Число таких пазов в зоне зависит от того, на сколько пазов принято укорочение шага. В этой обмотке диаметральный шаг 6, а укороченный 5. Поэтому в каждой зоне расположено по одному пазу со встречным направлением токов. Чтобы обеспечить получение требуемой электродвижущей силы (э. д. с.) в обмотках с укороченным шагом, приходится увеличивать число проводов в фазах.

§ 47. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Составление схем двухслойных обмоток покажем на примере обмотки статора со следующими данными: $z=18$; $2p=2$; $a=1$.

Сначала подсчитаем диаметральный шаг обмотки по формуле (8):

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{18}{2} = 9.$$

Для улучшения электрических характеристик машины возьмем y_z равным 7 с укорочением шага на 2 паза, что составит примерно одну пятую от диаметрального шага. Проведем 36 вертикальных линий, которые будут представлять собой стороны катушек, лежащих по две в 18 пазах (рис. 80). В каждом пазу левую линию проведем сплошной и она будет изображать верхнюю сторону катушки, а правую — штриховой и она будет изображать нижнюю сторону катушки. Начало первой фазы возьмем из верхней части 1-го паза. Теперь соединим этот провод согласно шагу обмотки по пазам с нижней стороной катушки в $1+7=8$-м пазу, так как в двухслойных обмотках одна сторона катушки лежит в верхней части паза, а другая — в нижней.

Чтобы проверить правильность схемы, следует определить, из каких пазов выходят концы фаз. Они также должны быть удалены один от другого на 120 электрических градусов, поэтому должны выходить из верхней части 47-го паза (вторая фаза) и верхней части 3-го паза (третья фаза). Если концы выходят из этих пазов, то схема выполнена правильно.

В машинах, у которых ток в фазе большой, делают соединение катушечных групп не последовательное, а параллельное.

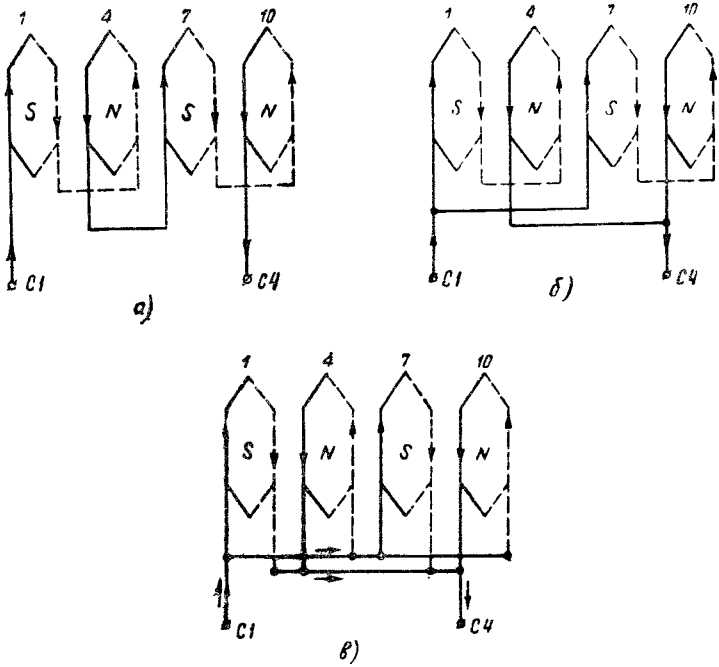


Рис. 79. Схемы соединений катушек:
а — последовательное, *б* — смешанное, *в* — параллельное

На рис. 79 показаны три варианта соединения катушечных групп четырехполюсной обмотки. На рис. 79, *а* все катушечные группы соединены последовательно, на рис. 79, *б* они соединены в две параллельные ветви и по каждой ветви протекает половина тока фазы. На рис. 79, *в* обмотка соединена в четыре параллельные ветви и по каждой ветви протекает четверть тока фазы.

На схемах изображены катушечные группы только одной фазы и указаны их номера *1*; *4*; *7* и *10*. Пропущенные номера заняты катушечными группами других фаз.

Параллельные соединения должны быть выполнены так, чтобы направление тока в проводах и полярность полюсов остались

быть разной полярности: одна северная, другая южная. Для этого необходимо, чтобы направление тока в них было встречное.

В первой катушечной группе, как показано стрелками, ток обтекает катушку по направлению часовой стрелки. Чтобы во второй группе направление тока было противоположное, нужно соединить конец первой группы, выходящий из 7-го паза, с концом второй группы, выходящим из 13-го паза, как показано на схеме штриховыми линиями. Тогда направление тока в этой группе будет против часовой стрелки.

Остался свободным вывод от начала второй группы, выходящий из 7-го паза. Его надо соединить с одним из выводов третьей катушечной группы. Но третья группа по схеме должна иметь такую же полярность, как и первая, т. е. ток должен обтекать ее по часовой стрелке. Поэтому начало третьей группы, выходящее из 13-го паза, необходимо соединить с началом второй группы, выходящим из 7-го паза. Это соединение показано на схеме сплошными линиями.

Таким образом, для двухслойных обмоток существует правило: *при соединении катушечных групп надо соединять одноименные выводы, т. е. начало группы с началом следующей и конец группы с концом следующей.*

После того как все катушечные группы соединены, начало последней катушечной группы первой фазы выйдет из верхней части 43-го паза. Вывод из 1-го паза является началом первой фазы (*С1*), а вывод из 43-го паза — концом фазы (*С4*).

Чтобы облегчить изучение схемы, показана укладка катушек только для одной фазы. При обмотке статора катушки всех фаз вкладывают в пазы подряд и затем соединяют катушечные группы в фазах.

Как же выбрать расположение начал второй и третьей фаз? Они должны выходить из верхней части паза так же, как и начало первой фазы. Для определения номеров пазов, из которых будут выходить начала фаз, нужно руководствоваться тем же правилом, с которым мы познакомились при изучении однослойных обмоток, т. е. начала фаз должны быть сдвинуты на 120 электрических градусов. В схеме, показанной на рис. 78, число полюсов $2p$ равно 8; в окружности статора будет $360p = 360 \cdot 4 = 1440$ электрических градусов. Угол между соседними пазами равен $1440 : 48 = 30$ электрических градусов.

Между началом первой фазы и началом второй фазы должно быть $120 : 30 = 4$ пазовых деления. Если отсчитаем от 1-го паза четыре пазовых деления, получим 5-й паз. Таким образом, начало второй фазы (*С2*) будет выходить из 5-го паза, а начало третьей фазы (*С3*) можно нанести на схему, отсчитав четыре пазовых деления от 5-го паза (получим 9-й паз).

Диаметральный шаг обмотки был бы:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{48}{8} = 6.$$

Следовательно, имеем обмотку с укороченным шагом. Число пазов на полюс и фазу этой обмотки

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{48}{8 \cdot 3} = 2.$$

Каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Соединения между катушками в катушечной группе осуществляются непрерывным проводом и изображены в нижней части схемы.

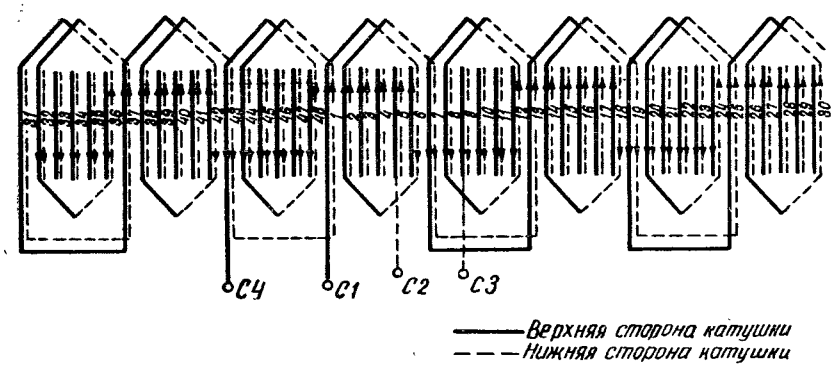


Рис. 78. Схема одной фазы двухслойной обмотки статора

Проследим расположение катушечных групп первой фазы на статоре и их соединение. Начало первой фазы берем из верхней части 1-го паза. Первая катушечная группа занимает верхние части 1 и 2-го пазов и нижние части 6 и 7-го пазов.

Оставим свободными четыре ($2q$) верхние стороны пазов для катушек других фаз. Они лежат в 3; 4; 5 и 6-м пазах. Следующая катушечная группа первой фазы должна лежать верхними сторонами в 7 и 8-м пазах, а нижними — в 12 и 13-м. Третья катушечная группа первой фазы лежит верхними сторонами в 13 и 14-м пазах, а нижними — в 18 и 19-м пазах. Таким образом, как в верхнем, так и в нижнем слое обмотки остаются свободными по четыре половины паза для катушек других фаз.

Посмотрим, как соединяются между собой выводы отдельных катушечных групп первой фазы. Конец первой катушечной группы выходит из 7-го паза и должен быть соединен с одним из выводов второй катушечной группы. Первая и вторая катушечные группы фазы, смещенные на одно полюсное деление, должны

ном случае имеем укороченный шаг. Для определения диаметрального шага нужно подобрать ближайшее большее число, на которое 90 делится без остатка. Таким числом будет 9. Число полюсов определим, разделив 90 на 9. Значит, данная машина имеет 10 полюсов.

Тот же статор можно намотать на другое число полюсов, изменяя шаг обмотки и число катушек в катушечной группе.

§ 46. СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

В двухслойных обмотках, как и в однослойных, важным показателем, характеризующим обмотку, является число пазов на полюс и фазу. Его определяют так же, как и для однослойных обмоток по формуле (9).

В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу легко определить по виду обмотки, так как это будет число катушек в одной катушечной группе. В двухслойной обмотке число пазов на полюс и фазу нельзя определить по внешнему виду обмотки, но его можно рассчитать, зная число пазов и число полюсов. Общее число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов, так как каждая катушка занимает две половины паза, что равносильно одному пазу.

Для уменьшения числа паек в соединениях между катушками обычно их наматывают непрерывным проводом группами по нескольку катушек, в зависимости от числа пазов на полюс и фазу. Помимо сокращения рабочего времени на паяние, непрерывная намотка катушечных групп значительно упрощает процесс их соединения и уменьшает возможность ошибок при выполнении соединений по схеме. Это объясняется тем, что при соединении схемы приходится иметь дело с меньшим числом выводов.

Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, а во всей обмотке:

$$k = 2pm = 6p, \tag{13}$$

т. е. вдвое больше, чем в однослойных двухплоскостных обмотках.

На рис. 78 показана развернутая схема двухслойной обмотки со следующими данными: $z=48$, $2p=8$, $q=2$.

Для большей наглядности схемы в ней показаны соединения проводов только одной фазы. 1-й паз помещен не с краю схемы, а в середине. Разрез схемы выбран так, чтобы ни одно соединение между катушечными группами не было разорвано. Из схемы видно, что обмотка имеет шаг из 1-го паза в 6-й, так как верхняя сторона первой катушки, изображенная сплошной линией, лежит в 1-м пазу, а нижняя ее сторона, изображенная штриховой линией, лежит в 6-м пазу. Таким образом, шаг обмотки $y_z=5$.

форме паза и более совершенная технология изготовления элементов обмоток и укладки их в пазы. Поэтому двухслойные обмотки — самые распространенные в статорах машин переменного тока.

§ 45. ДИАМЕТРАЛЬНЫЙ И УКОРОЧЕННЫЙ ШАГ ОБМОТКИ

В отличие от концентрической двухслойная обмотка характеризуется тем, что она выполняется из однотипных катушек, которые имеют одинаковый шаг и одинаковую форму. Соединения между витками производят непрерывным проводом в процессе намотки катушки на шаблоне. Число соединений между катушками может быть уменьшено путем намотки непрерывным проводом катушечных групп из нескольких катушек.

В двухслойной обмотке шагом катушки называют расстояние между верхней и нижней сторонами катушки, выраженное номерами пазов, в которых лежат стороны катушки. Шаг указывают на чертежах и обмоточных записках и обозначают y_z. Шаг обмотки может быть нормальным или укороченным. Нормальный шаг обмотки определяют по формуле (8).

Если обмотка выполнена на два полюса, то нормальный шаг при $2p=2$ будет охватывать половину окружности статора. Поэтому нормальный шаг называют также *диаметральным шагом.*

Обмотки с диаметральным шагом применяют редко. Большинство обмоток статора делают с *укороченным шагом*, так как укорочение шага обмотки улучшает электрические свойства машины. Кроме того, укорочение шага дает экономию меди в лобовых частях, так как при уменьшении ширины катушки укорачиваются и лобовые части. Обычно шаг укорачивают на $^1/_6$ диаметрального шага. Например, если диаметральный шаг обмотки равен 12, то укороченный шаг берут равным 10.

В двухслойной обмотке последовательно соединенные рядом лежащие катушки образуют катушечную группу. Но по уложенной в пазы обмотке трудно определить число катушечных групп, потому что все они имеют симметричную форму и лобовые части по виду напоминают плетеную корзину. В двухслойной обмотке число полюсов можно определить только по шагу обмотки.

Приведем несколько примеров.

Статор имеет 48 пазов, а катушки уложены из 1-го паза в 7-й ($y_z=6$). Разделив 48 на 6, получим 8. Следовательно, такая обмотка выполнена на 8 полюсов.

Статор имеет 90 пазов, а шаг обмотки 1—9. Если катушки вкладываются в 1 и 9-й пазы, то шаг обмотки y_z равен 8. Чтобы определить число полюсов, надо число пазов разделить на шаг обмотки. Но 90 не делится без остатка на 8, а число полюсов должно обязательно выражаться целым четным числом. В дан-

ГЛАВА X

ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРА

§ 44. ТИПЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Двухслойными называются обмотки, у которых в пазу лежат стороны двух катушек и каждая катушка расположена в двух слоях: один слой обмотки укладывают на дно пазов, а другой располагают над ним. Лобовые части катушек также занимают два слоя и переход из слоя в слой осуществляется в головках катушек.

К двухслойным обмоткам статора относятся:

трехфазная всыпная обмотка при полузакрытой форме паза;

трехфазная катушечная обмотка при полуоткрытой форме паза;

трехфазная катушечная обмотка при открытой форме паза;

трехфазная стержневая обмотка при открытой форме паза;

обмотка статора однофазных двигателей.

Всыпную обмотку из мягких катушек в единых сериях асинхронных двигателей применяют при мощностях до 100 *квт*. При мощностях в пределах 125—400 *квт* и напряжении не выше 660 *в* используют катушечную обмотку из жестких катушек, число которых в два раза больше числа пазов (см. рис. 25). При мощностях свыше 400 *квт* и при напряжениях выше 660 *в* статоры имеют открытые пазы, в которые укладывают катушки с непрерывной изоляцией. Стержневые обмотки встречаются только в крупных машинах мощностью в десятки и сотни тысяч киловатт, главным образом в турбо- и гидрогенераторах. В однофазных двигателях применяют исключительно всыпные двухслойные обмотки при полузакрытой форме паза.

Главными преимуществами двухслойных обмоток перед однослойными являются: возможность выбора любого укорочения шага обмотки для улучшения характеристик двигателей и генераторов, непрерывная изоляция катушек и стержней при открытой

равки и она опускается пневматическим цилиндром *12*. При этом щели оправки запираются вилкой *10*. Действием пневматического цилиндра *14* зубчатая рейка *13*, находящаяся в зацеплении с цилиндрической шестерней, поворачивает стол *11* на 180°. Траверса *20* начинает опускаться с помощью пневматического цилиндра *19* и надвигает статор на оправку с катушкой.

Когда траверса окажется в самом нижнем положении, клин *9* раздвинет планки на дне щелей оправки и всыпет проводники в пазы статора. Выступающие пластинки по краям щелей препятствуют проводникам заклиниться между статором и оправкой. Затем траверса снова поднимается и действием пневматического цилиндра *16* шаблоны *18* формуют лобовые части катушки статора, и он поворачивается на одно пазовое деление. Пока происходит процесс вдвигания катушки в пазы статора, мотовило наматывает вторую катушку на оправку, поднятую цилиндром *12*.

Траверса *20* и механизм намотки расположены на стенках прямоугольной неподвижной станины станка. Для доступа к катушке *3* в станине имеется дверка. Остальные механизмы укреплены на поворотном столе *11*, который вращается в подшипнике скольжения. Управление цилиндрами *16* и *17* проведено через отверстие в центральной оси станка.

Электродвигатели малой мощности широко применяют при механизации и автоматизации производственных процессов в устройствах управления и контроля, в электроинструментах и бытовых приборах. В ближайшие годы выпуск их составит десятки миллионов в год. В целях увеличения выпуска машин малой мощности разрабатывают автоматические поточные линии для различных процессов их производства. В связи с этим необходимо в ближайшие годы резко расширить создание и применение статорообмоточных станков, чтобы обеспечить рост производства электрических машин малой мощности.

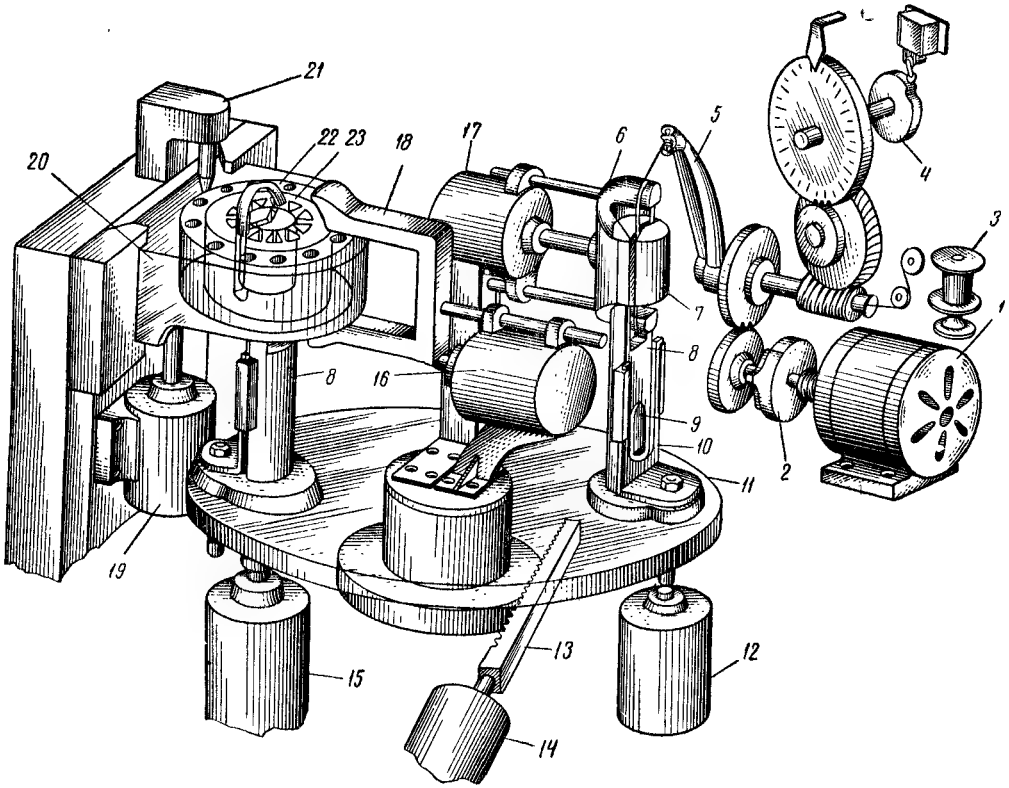


Рис. 77. Кинематическая схема обмоточного станка

Универсальный станок для этих целей пока получить не удалось. Размеры шаблонов и рабочего механизма укладки катушек в пазы определяются размерами статора и техническими данными обмотки. Правда, есть возможность переналадки станка на другие типы статоров того же диаметра. Легко изменять также число витков и диаметр провода, но диаметр статора должен оставаться неизменным, иначе пришлось бы заменять рабочие части станка, что очень сложно. Однако при массовом выпуске двигателей единой серии создание для каждого габарита специальных станков экономически оправдывается.

Разработано уже несколько моделей обмоточных станков второго типа, например станок ОС-627-31 ВНИИэлектромеханики, станок завода «Вольта» в Таллине, станок НСП5-3, станок АМО-4 (ГДР) и др. Производительность их достигает 12—17 статоров в час, т. е. в 3—4 раза превышает производительность станков первого типа.

Кинематическая схема обмоточного станка, разработанного Одесским политехническим институтом, наглядно показывает принцип действия обмоточного станка этого типа (рис. 77). Станок двухпозиционный, карусельного типа, с поворотным столом. На нем одновременно производится намотка одной катушки и укладка в пазы статора другой, предварительно намотанной катушки. Станок имеет электропневматическое управление и оборудован электродвигателем и шестью пневматическими цилиндрами.

Электродвигатель *1* через фрикционную муфту с тормозом *2* и систему шестерен вращает мотовило *5*. Обмоточный провод с катушки *3* через смоточное устройство подается к мотовилу *5*. Счетчик оборотов *4*, установленный на требуемое число витков, автоматически остановит мотовило после намотки катушки. Лобовые части катушки наматываются на шаблон *6*, а пазовые ее части ложатся в щели оправки *7*, диаметр которой на 0,2—0,3 *мм* меньше диаметра расточки статора. На дне щелей расположены пластины, которые могут раздвигаться клином *9*, выдавливая витки катушки из щелей.

Оправка установлена на стойке *8*, прикрепленной к поворотному столу *11*. Края щелей оправки армированы пружинными пластинами, выступающими над поверхностью оправки на 0,2—0,3 *мм*. Вторая точно такая же оправка установлена на противоположной стороне поворотного стола; она приводится в движение цилиндром *15*. Над ней находится траверса *20*, в которой закреплен барабан *22* со вставленным в него статором *23*. Пазы статора предварительно изолированы гильзами. На траверсе установлен механизм поворота *21* статора с барабаном на одно пазовое деление и фиксации его в этом положении.

После намотки катушки на оправку провод отрезается от катушки, шаблон *6* пневматическим цилиндром *17* сдвигается с оп-

На рис. 76 показан обмоточный станок этого типа швейцарской фирмы «Микафил». Статор *1* вставляют в планшайбу *2* и закрепляют кулачками. Ставят шаблон *4*, зажимая его крючками *6* и рукояткой *5*. Вставляют манжету *3* и соединяют ее со статором. От укладчика подводят провод в паз статора и закрепляют на диске, надевая на него чулочек. Намотка катушки происходит в результате согласованного действия обмоточного органа («руки») и подхватывающих крючков с обоих торцов статора.

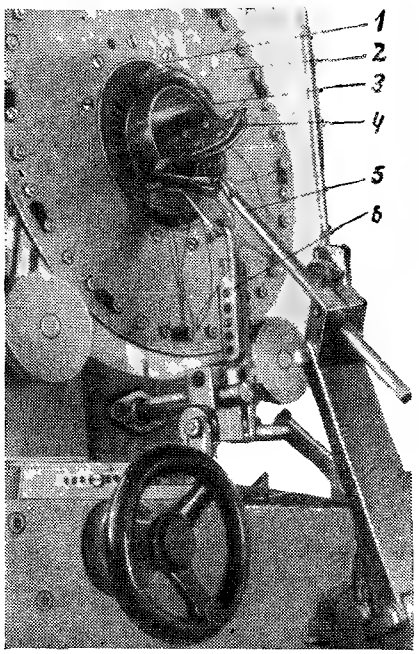


Рис. 76. Обмоточный станок фирмы «Микафил»

В конце хода вперед обмоточный орган быстро поворачивается на угол между пазами, в которых лежат стороны катушки. В начале этого движения передний крючок, двигаясь справа налево, подхватывает обмоточный провод; образуется петля, которая располагается немного ниже козырька шаблона. Затем «рука» идет назад вдоль правого паза, стаскивая провод с переднего крюка и втягивая провод под козырек шаблона, в результате чего образуется передняя лобовая часть витка. Укладка второй лобовой части происходит аналогично с помощью заднего подхватывающего крючка. Станок обладает невысокой производительностью (3—4 статора в час), но работает бесперебойно при числах полюсов статора от 2 до 8.

Станки второго типа позволяют достигнуть высокой производительности, потому что в них скорости рабочих органов не играют такой роли, как в станках первого типа. Намотка секций производится так же, как на обычных намоточных станках, простым вращательным движением. Затем шаблон выводится из катушки и она вдвигается в пазы статора в осевом или в радиальном направлении. Вкладывание катушки в пазы совершается с малой скоростью, так как время укладки не определяет производительности станка, которая лимитируется операцией намотки. Эти станки, как правило, бывают узко специальными.

обмотки, а штриховыми — катушки второй обмотки. Правила соединения катушек и порядок укладки их в пазы остаются такими же, как и для обмотки, изображенной на рис. 73.

Конденсаторы в цепях переменного тока обладают замечательным свойством. Если индуктивность увеличивает угол между полной и активной мощностью, то включенная емкость уменьшает этот угол. Так, например, для двигателя мощностью 30 *вт* с отключаемой пусковой обмоткой коэффициент мощности равен 0,68, а для этого же двигателя, работающего с конденсатором, коэффициент мощности повышается до 0,98. В результате этого мощность конденсаторного двигателя достигает 50 *вт*.

§ 43. ОБМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ СТАТОРОВ

Машины переменного тока малой мощности являются наиболее массовой продукцией электромашиностроения, поэтому очень важно при их изготовлении автоматизировать укладку обмоток в пазы статоров. Но эта операция трудно поддается механизации, так как пазы расположены на внутренней окружности статора, и поэтому нельзя для обмотки применить простое вращательное движение статора, как это имеет место в полуавтоматических станках для обмотки роторов (см. рис. 129).

Процесс обмотки статора, выполняемый на полуавтоматических станках, состоит из следующих этапов: изолировки пазов (см. § 20), укладки обмотки и заклинивания пазов (см. § 103). Изолировку выводных концов обмотки, соединение схемы и пайку соединений производят вручную.

Полуавтоматические обмоточные станки строят двух типов. В одних статор в процессе намотки одной катушки остается неподвижным, а намотка катушки проводом в два паза производится специальным обмоточным механизмом. В станках второго типа катушка вращающимся мотовилом наматывается на шаблон, а затем защемляется на оправке и вдвигается в пазы статора.

Обмоточным станкам первого типа свойственны некоторые недостатки. Это прежде всего сложность движений, необходимых для образования витков внутри статора. В очень небольшом и тесном пространстве внутри статора приходится укладывать виток в пазы и по лобовым частям обмотки. Этим предопределяется сложность конструкции станка, трудность наладки и обслуживания, а часто и нестабильность работы. Кроме того, тяжелые массивные рабочие органы, которые совершают возвратно-поступательные движения, своей инерцией замедляют работу станков, что влияет на производительность. Эти инерционные усилия не могут быть погашены при больших скоростях, которые следовало бы задать рабочим органам станка.

Аналогично вкладывают в пазы вторую катушку рабочей обмотки: сначала в пазы *8* и *11*, а затем в пазы *7* и *12* и соединяют катушки между собой, чтобы они имели противоположную полярность. Это значит, что если одну катушку ток обтекает по часовой стрелке, то противоположную катушку этой обмотки ток должен обтекать против часовой стрелки.

Вывод из паза *8* соединяют с зажимом *С2* на дощечке. После этого вкладывают катушки пусковой обмотки. Первую катушку вкладывают в пазы *10* и *3*, вторую — в пазы *4* и *9*. Концы катушек присоединяют к зажимам *П1* и *П2*.

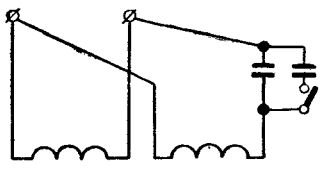


Рис. 74. Схема однофазного конденсаторного асинхронного двигателя

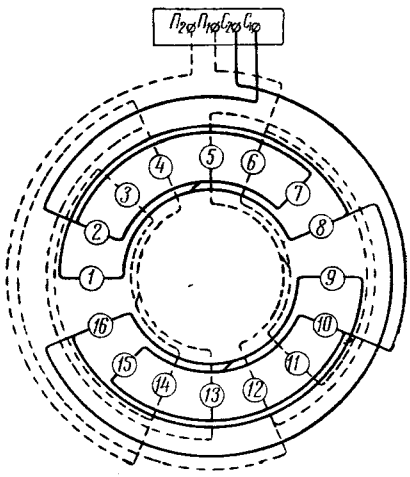


Рис. 75. Схема обмотки статора двухполюсного конденсаторного двигателя

При соединении катушек пусковой обмотки также необходимо следить за тем, чтобы полярность их была противоположной. Выводы *С1* и *П1* присоединяют к одному из проводов сети переменного тока, а выводы *С2* и *П2* — к другому. Если поменять местами выводы пусковой или рабочей обмотки, то ротор двигателя будет вращаться в другую сторону. Таким образом, однофазный асинхронный двигатель является реверсивным.

В рассмотренной схеме рабочая обмотка занимает только $^2/_3$ пазов, а $^1/_3$ пазов при работе двигателя остается неиспользованной, что влечет за собой снижение мощности двигателя. В последнее время все большее распространение получают конденсаторные асинхронные однофазные двигатели, у которых обе обмотки остаются включенными при работе. Схема конденсаторного двигателя показана на рис. 74. Для увеличения пускового момента двигателя при пуске включают второй конденсатор.

На рис. 75 показана схема обмотки статора двухполюсного конденсаторного двигателя. Особенностью конденсаторных двигателей является то, что каждая обмотка занимает половину пазов. На схеме сплошными линиями обозначены катушки одной

На рис. 73 показана схема обмотки статора однофазного асинхронного двигателя. Обычно рабочая обмотка занимает $^2/_3$ пазов, а пусковая $^1/_3$ пазов. В этом статоре 12 пазов. Пазы *1; 2; 5; 6; 7; 8; 11* и *12* заняты рабочей обмоткой, а пазы *3; 4; 9* и *10* — пусковой обмоткой. На схеме пазы обозначены цифрами, а торцовые части обмотки и соединения между катушками — дугами. Соединения с одного торца статора условно показаны дугами внутри отверстия статора, а соединения с противоположного торца — дугами снаружи статора. В действительности эти соединения расположены на торцах статора.

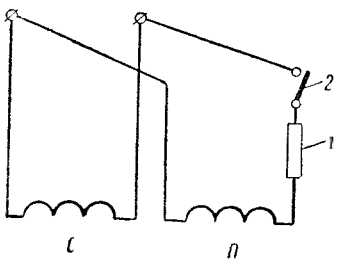


Рис. 72. Схема однофазного асинхронного двигателя

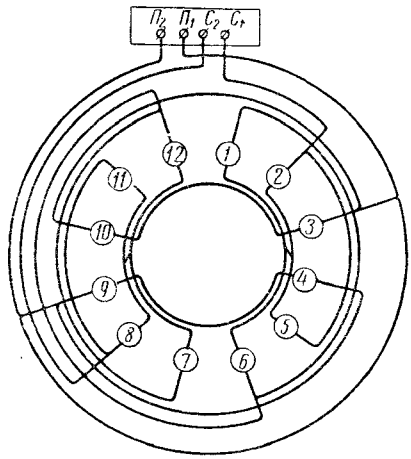


Рис. 73. Схема обмотки статора однофазного асинхронного двигателя

Эта схема обмотки двухполюсного двигателя, так как каждая катушка занимает половину окружности статора. Как рабочая, так и пусковая обмотки имеют по две катушки. Сторона катушки рабочей обмотки занимает два паза, катушка пусковой обмотки — с каждой стороны по одному пазу. Катушки рабочей обмотки расположены на противоположной стороне статора так же, как и катушки пусковой обмотки. Между катушками рабочей и пусковой обмоток должен быть угол 90°.

Действительно, ось рабочей обмотки, проходящая через середины катушек, будет на схеме горизонтальным диаметром, а ось пусковой обмотки — вертикальным диаметром. Выводы обмоток соединены с зажимами на дощечке и обозначены буквами *С1, С2, П1* и *П2*.

Порядок укладки катушек в пазы следующий. Сначала вкладывают катушку в пазы *2* и *5*, затем охватывающую ее катушку — в пазы *1* и *6*. Таким образом, эта обмотка является концентрической. Конец первой катушки соединяют с началом второй. Начало первой катушки из паза *2* присоединяют к зажиму *С1*, а конец катушки из паза *6* соединяют с выводом из паза *12*.

разной шириной и длиной катушек в катушечной группе. Преимущество концентрических обмоток перед равнокатушечными цепными обмотками заключается в том, что в концентрической обмотке катушки одной катушечной группы располагаются в соседних пазах, в то время как в цепной обмотке они распределяются по окружности статора, что затрудняет укладку и намотку катушечной группы непрерывным проводом.

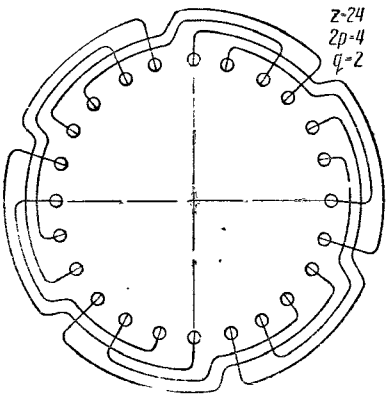


Рис. 71. Торцовая схема концентрической обмотки

На рис. 71 показана торцовая схема концентрической обмотки, применяемой в единой серии асинхронных двигателей. Особенностью этих обмоток является то, что одна сторона катушки выполнена с длинной лобовой частью, а другая — с короткой лобовой частью. Это позволило избежать необходимости применять два намоточных шаблона и все катушечные группы наматывать на одном шаблоне. В лобовых частях катушки отдельных катушечных групп переплетаются, поэтому само понятие двухплоскостных и трехплоскостных концентрических обмоток отпадает.

§ 42. ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ ОДНОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однофазные двигатели широко применяют в схемах автоматики, телеуправления и в бытовых приборах. Они не требуют наличия трехфазной сети, и переменный ток к ним подводят по двум проводам. Но по сравнению с трехфазными однофазные асинхронные двигатели имеют недостаток, заключающийся в том, что для пуска их в ход необходима специальная пусковая обмотка, в цепь которой включают пусковые устройства.

На статоре однофазного асинхронного двигателя (рис. 72) расположены две обмотки. Буквой *С* обозначена рабочая обмотка, которая остается включенной в течение всего времени работы двигателя, буквой *П* — пусковая обмотка, которая включена в сеть параллельно рабочей обмотке только в момент пуска двигателя. Когда ротор разовьет требуемое число оборотов, пусковую обмотку отключают при помощи выключателя *2*. В цепь пусковой обмотки включают пусковой элемент *1*, представляющий собой индуктивное сопротивление или конденсатор.

Процесс намотки должен был вестись, начиная с внутренней катушки катушечной группы. Внутри катушки должно было оставаться $2q$ свободных пазов.

Процесс намотки катушки концентрической обмотки выполнялся в следующем порядке. Сматывали с бухты провод длиной, равной развернутой длине катушки, и натирали его парафином. Намотку выполняли два обмотчика. Первый вытягивал из паза одну спицу, а второй проталкивал вслед за спицей конец провода до тех пор, пока он не выходил с противоположной стороны статора или ротора. Первый обмотчик захватывал пассатижами конец провода и протягивал его через паз. В это время второй обмотчик направлял провод, не допуская резких перегибов и образования барашков.

Когда весь отмотанный от бухты провод был протянут через паз, второй обмотчик вытягивал спицу из следующего паза по шагу обмотки, а первый просовывал вслед за спицей конец провода и укладывал на шаблонах первый виток лобовой части катушки.

Таким образом укладывались и следующие витки, до тех пор пока два паза не были заполнены проводами. Спицы из пазов вынимали в определенной последовательности, обеспечивающей расположение витков в пазу согласно чертежу.

Для намотки второй катушки катушечной группы отматывали от бухты провод длиной, равной развернутой длине катушки, и отрезали провод от бухты. Стальные спицы переставляли в следующие пазы и так же наматывали вторую катушку катушечной группы. Таким образом, две катушки оказывались намотанными одним непрерывным проводом.

Сначала наматывали все катушечные группы с короткими отогнутыми лобовыми частями, затем между ними наматывали катушки с длинными лобовыми частями.

Из этого описания видно, насколько трудоемким был процесс намотки впротяжку. Он занимал в 8—10 раз больше времени, чем укладка в пазы современных всыпных обмоток.

Иногда неправильно утверждают, что намотка впротяжку вызывается тем, что концентрические обмотки имеют переменный шаг по пазам в отличие от равнокатушечных обмоток, которые наматывают на шаблоны. В действительности необходимость намотки впротяжку вызывается не схемой обмотки, а закрытыми пазами. В единой серии асинхронных двигателей третьего и четвертого габаритов применяют концентрические обмотки, которые при полузакрытой форме паза наматывают на шаблон и вкладывают в пазы через прорези.

Разница между концентрическими и равнокатушечными обмотками заключается только в форме шаблона, которая для концентрических обмоток делается ступенчатой в соответствии с

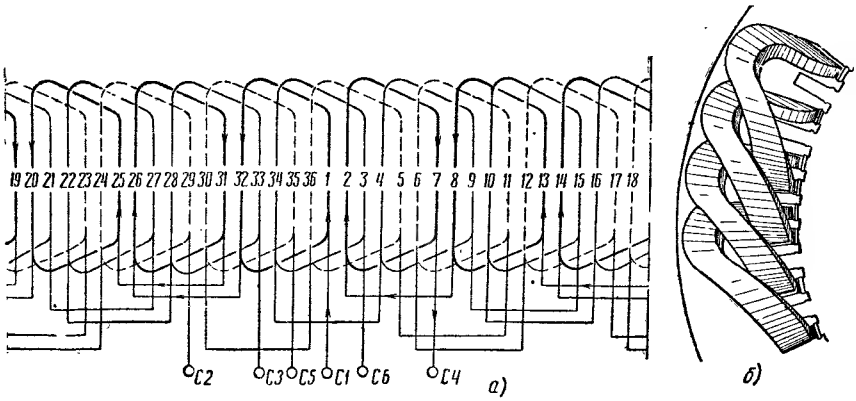


Рис. 69. Схема цепной обмотки с укороченным шагом (*а*) и вид ее лобовых частей (*б*)

§ 41. УКЛАДКА В ПАЗЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОБМОТОК

Концентрические обмотки малых машин из круглого провода при закрытой форме паза наматывали впротяжку (рис. 70). Изоляция паза при напряжении до 220 *в* состояла из нескольких слоев электрокартона, который наматывали на деревянную ли-

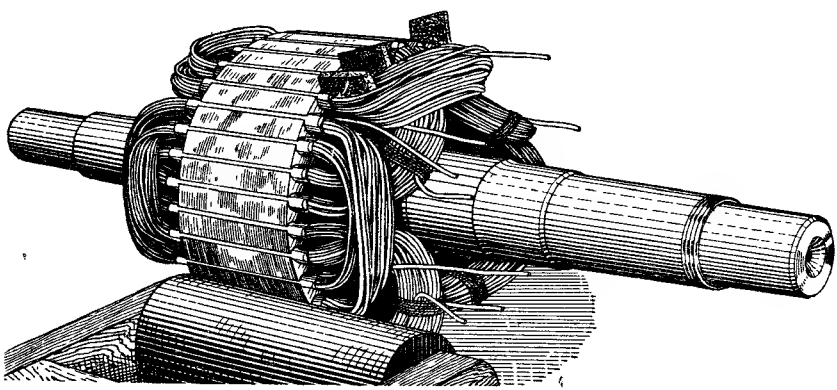


Рис. 70. Ротор в процессе укладки концентрической обмотки

нейку и вставляли в пазы с торца статора или ротора. В пазы, в которые должны были быть намотаны стороны катушки, вставляли стальные спицы диаметром на 0,1 *мм* больше диаметра изолированного провода в количестве, равном числу проводов в пазу. В соседние пазы внутри шага катушки вставляли хвостовики деревянных шаблонов, вокруг которых выгибали лобовые части катушки.

номерами, а разность между четным и нечетным числом есть число нечетное. Все катушки имеют одинаковый шаг, равный 9, т. е. первая катушка укладывается в 1—10-й пазы, следующая — в 3—12-й и т. д.

Шаг обмотки можно определить по формуле (8). В данном случае

$$y_z = \frac{36}{4} = 9.$$

Лобовые части равнокатушечной обмотки располагаются симметрично, поэтому, глядя на схему, нельзя определить, сколько катушечных групп содержит обмотка и на сколько полюсов она намотана. Для определения числа полюсов надо проследить направление тока в проводах обмотки, считая, что ток направлен от начала первой фазы к концу ее.

На схеме (рис. 68) показано направление тока в первой фазе. Проследив направление тока во всех проводах фазы, видим, что ток в двух группах проводов направлен вверх, а в двух группах — вниз. Это показывает, что обмотка выполнена на четыре полюса. Число пазов в такой группе равно 3 в соответствии с числом пазов на полюс и фазу, которое в данной обмотке будет:

$$q = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3.$$

Группы проводов с одинаковым направлением тока расположены на схеме на одинаковых расстояниях. Это показывает, что соединение катушек в обмотке выполнено правильно.

Цепные обмотки применяют в статорах машин малой мощности. Они могут быть изготовлены из заранее намотанных катушек, причем все катушки могут быть намотаны на одном и том же шаблоне. Вкладывание проводов в пазы производят путем всыпания их через прорезь паза. Поэтому обмотку называют *всыпной*.

Цепные обмотки допускают укорочение шага. Правда, укорочение не может быть произвольным, так как шаг обмотки должен всегда выражаться нечетным числом. Например, обмотку на схеме, показанной на рис. 68, можно выполнить с укороченным шагом, равным 7, т. е. из 1-го паза в 8-й паз.

Иногда обмотку приходится принудительно делать с укороченным шагом. Разберем такой пример. Имеется цепная обмотка со следующими техническими данными: $z=36$; $2p=6$. Разделив число пазов на число полюсов, узнаем, что шаг обмотки получается 6 — четное число. С таким шагом обмотка не может быть выполнена, поэтому берем шаг равным 5. На рис. 69 показана схема этой обмотки и вид ее лобовых частей.

трапеции. На рис. 66 показана схема простой шаблонной обмотки, на рис. 67 — схема шаблонной обмотки вразвалку. Обмотку вразвалку применяют при большом числе пазов на полюс и фазу для упрощения укладки лобовых частей. Шаблонные обмотки обычно не имеют укорочения шага.

Цепные обмотки также выполняют вразвалку, но здесь короткие и длинные стороны катушек чередуются, т. е. развалку

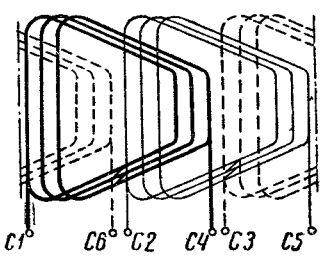


Рис. 66. Схема простой равнокатушечной шаблонной обмотки

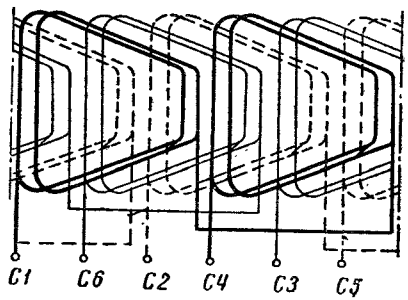


Рис. 67. Схема равнокатушечной шаблонной обмотки «вразвалку»

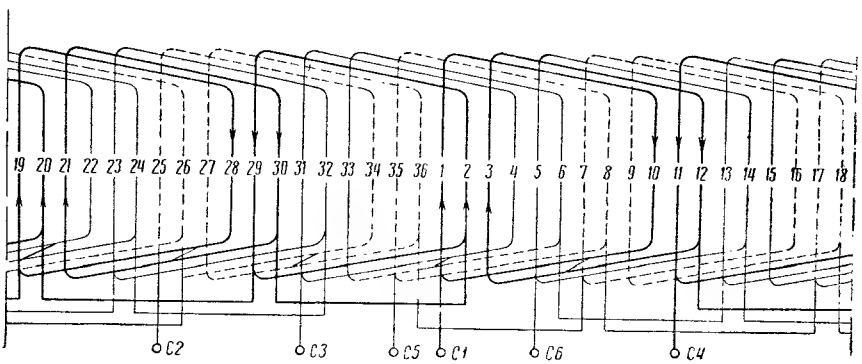


Рис. 68. Схема цепной обмотки с диаметральным шагом

производят не по половинам катушечных групп, а по отдельным катушкам. Цепные обмотки позволяют достигнуть более компактной укладки лобовых частей, чем другие равнокатушечные обмотки.

На рис. 68 показана схема цепной обмотки статора с числом пазов 36 и числом полюсов 4. Из схемы видно, что шаг обмотки должен быть всегда равен нечетному числу, так как если длинные стороны катушек занимают пазы с нечетными номерами, то короткие стороны катушек должны занимать пазы с четными

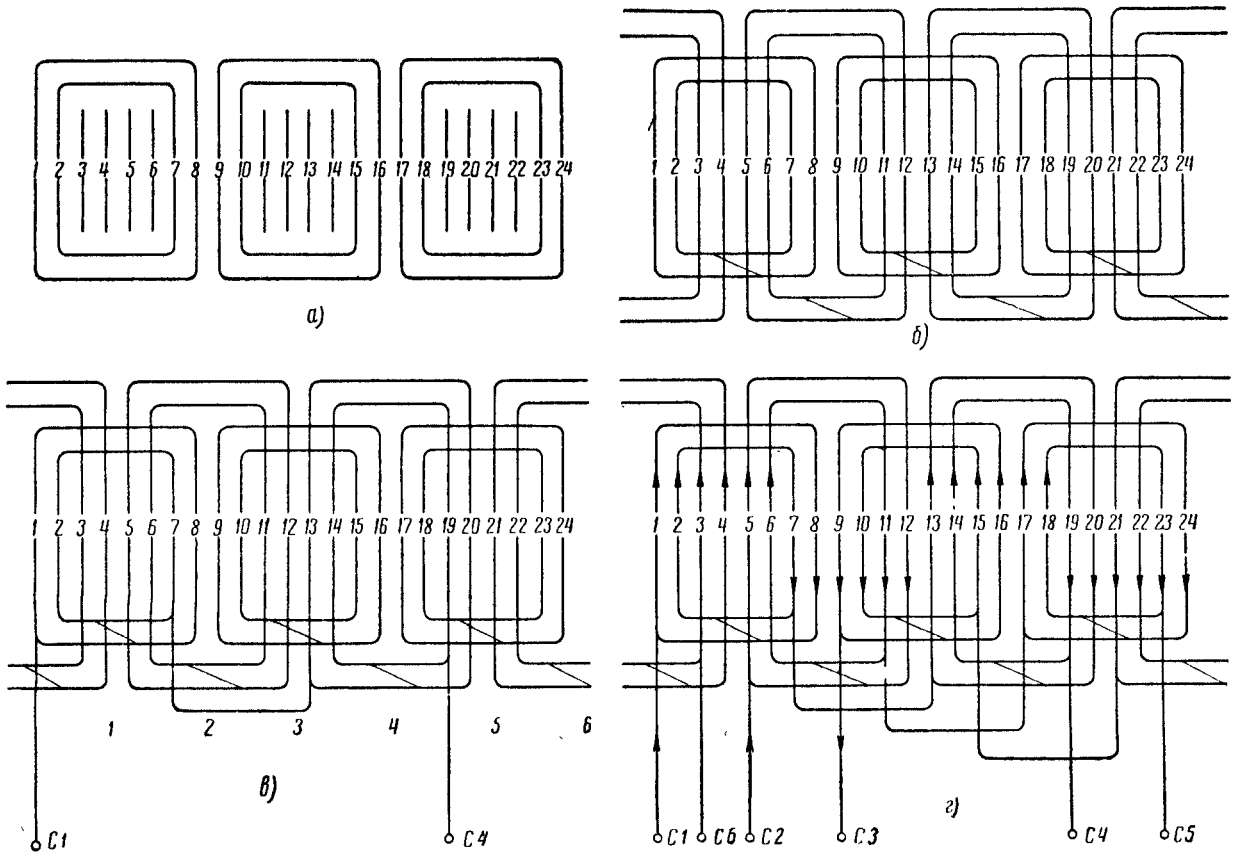


Рис. 65. Схема концентрической обмотки:
а, б, в, г — последовательность составления схемы

Проводим 24 вертикальные линии (рис. 65, *а*), обозначающие пазы статора, и нумеруем их. 1 и 2-й пазы заняты левой стороной первой катушечной группы первой фазы. Затем оставляем четыре ($2q$) паза свободными для катушечных групп двух других фаз. Правая сторона этой катушечной группы лежит в 7 и 8-м пазах. Это катушечная группа с короткими лобовыми частями. Рядом с ней лежит вторая катушечная группа с короткими лобовыми частями, которая занимает 9; 10; 15 и 16-й пазы, а затем третья катушечная группа, занимающая 17; 18; 23 и 24-й пазы. В промежутках, оставленных внутри катушечных групп, симметрично расположатся катушечные группы с длинными лобовыми частями (рис. 65, *б*). Пронумеруем по порядку все катушечные группы от первой до шестой (рис. 65, *в*).

К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй фазе — вторая и пятая, к третьей — третья и шестая. Принимаем за начало первой фазы начало первой катушечной группы — 1-й паз. Соединяем конец первой катушечной группы с началом четвертой (13-й паз). Конец четвертой катушечной группы является концом первой фазы (19-й паз). Таким образом, соединена схема первой фазы.

Чтобы определить положение начала второй фазы, надо рассчитать угол между двумя пазами в электрических градусах. У данной обмотки в окружности статора будет $360p=360\cdot 2=$ $=720$ электрических градусов. Следовательно, угол между пазами будет $720:24=30$ электрических градусов. Поэтому расстояние между началами фаз будет $120:30=4$ пазовых деления, а начала фаз расположены в следующих пазах: начало второй фазы в $1+4=5$-м пазу, а третьей фазы в $5+4=9$-м пазу.

Теперь соединяем катушечные группы в двух других фазах (рис. 65, *г*), следя за тем, чтобы полярность обеих катушек каждой фазы была одинаковой. Для этого конец второй катушечной группы соединяем с началом пятой, а конец третьей — с началом шестой.

Чтобы проверить правильность схемы, расставим на проводах стрелки, считая, что ток направлен в обмотку через начала первой и второй фаз, а из обмотки — через начало третьей фазы. На схеме видим, что стрелки делят ее на четыре симметричные зоны соответственно числу полюсов; в каждой зоне лежит по 6 пазов. Шаг между концами фаз также равен 4. Следовательно, обмотка выполнена правильно.

§ 40. СХЕМЫ РАВНОКАТУШЕЧНЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Равнокатушечными называют обмотки, состоящие из катушек с одинаковым шагом. Для удобства изготовления катушки шаблонных обмоток обычно наматывают на шаблон в форме

Теперь осталось соединить катушечные группы третьей фазы. Начало фазы должно выходить из паза 9+8=17. После соединения катушечных групп, которое выполняется аналогично соединению в других фазах, останется свободным вывод из 5-го паза.

Проверим, правильно ли расположены один относительно другого концы второй (45-й паз) и третьей (5-й паз) фазы. Это нельзя проверить простым вычитанием, так как 5 меньше 45. Поэтому поступим следующим образом. Обратимся к торцовой схеме (см. рис. 60) и начнем считать номера пазов подряд; тогда после 48-го будет 49-й паз, который на схеме обозначен номером *1*; после 49-го — 50-й (на схеме — *2*) и т. д. 5-й же паз получит номер 48+5=53. Вычитая 45 из 53, получим 8 пазовых делений. Таким образом, расстояние между концами фаз получилось правильное.

Существует два основных правила выполнения соединений катушечных групп в фазах однослойной концентрической обмотки и выбора начал и концов фаз:

1. *Расстояния между началами и концами фаз должны быть равны 120 электрическим градусам. Положение начала первой фазы может быть выбрано произвольно.*

2. *В каждой фазе надо соединять катушечные группы разноименными выводами, т. е. начало с концом или конец с началом.*

§ 39. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОБМОТОК

Обмотчику часто приходится самостоятельно составлять схемы обмоток. Исходными данными являются число пазов статора z, число полюсов $2p$ и число параллельных ветвей обмотки a. Разберем построение схемы на следующем примере.

Составить схему однослойной концентрической обмотки по данным: $z=24$; $2p=4$; $a=1$.

Сначала определим число катушечных групп k по формуле (11):

$$k = 3p = 6.$$

Таким образом, в каждой фазе будет по две катушечные группы. Теперь определим число пазов на полюс и фазу по формуле (9):

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Следовательно, сторона каждой катушечной группы занимает два паза. Обмотка имеет четное число пар полюсов $p=2$, поэтому ее можно выполнить без перекошенных катушек, расположив лобовые части в двух плоскостях.

вывести общее правило, что *число электрических градусов в окружности равняется 360 р,* где *р* — число пар полюсов обмотки.

Зная, что такое электрические градусы, можно во всякой обмотке определить, сколько электрических градусов заключено между двумя соседними пазами. Например, статор имеет 36 пазов и обмотка выполнена на шесть полюсов. Окружность такого статора содержит 1080 электрических градусов. Следовательно, угол между соседними пазами составляет:

$$\frac{1080}{36} = 30 \text{ электрических градусов.}$$

Для соблюдения симметрии обмотки необходимо, чтобы расстояние между началами трех фаз составляло две трети полюсного деления, т. е. 120 электрических градусов. Такое же расстояние должно быть и между концами фаз.

Вернемся к схеме, изображенной на рис. 59, и определим, из какого паза надо взять начало второй фазы, пользуясь правилом, с которым мы сейчас познакомились. В этой обмотке, намотанной на четыре полюса, окружность статора содержит 720 электрических градусов. Угол между соседними пазами будет:

$$\frac{720}{48} = 15 \text{ электрических градусов.}$$

Следовательно, начало второй фазы, которое должно отстоять от начала первой фазы на 120 электрических градусов, находится на расстоянии:

$$\frac{120}{15} = 8 \text{ пазовых делений.}$$

Теперь легко найти положение начала второй фазы, для чего к 1-му пазу нужно прибавить 8, тогда началом второй фазы должен служить провод, выходящий из 9-го паза.

Конец первой катушечной группы второй фазы, выходящий из 21-го паза, надо соединить с началом второй катушечной группы этой фазы, выходящим из 33-го паза. При этом, как видно из схемы, получим катушки одинаковой полярности.

После соединения катушечных групп второй фазы останется свободным конец фазы, выходящий из 45-го паза. Но известно, что концы и начала фаз должны быть расположены также на расстоянии 120 электрических градусов, т. е. восьми пазовых делений. На основании этого можно проверить сделанное соединение. Для этого определим разность номеров пазов, из которых выходят концы фаз: 45—37=8 пазовых делений, т. е. концы фаз расположены правильно.

группы. Его отгибают, так как он пойдет к дощечке зажимов и будет началом первой фазы. Из 13-го паза выходит конец этой же катушечной группы. Его надо соединить со второй катушечной группой первой фазы, выводы которой выходят из 25 и 37-го пазов.

Как видно из торцовой схемы (см. рис. 60), вторая катушечная группа расположена на статоре диаметрально противоположно первой катушечной группе. В четырехполюсной машине она должна иметь такую же полярность, как и первая. Поэтому направление тока в обеих катушечных группах должно быть одинаковое. Для этого надо конец первой катушечной группы, выходящий из 13-го паза, соединить с началом второй катушечной группы, выходящим из 25-го паза.

Проверим, действительно ли при таком соединении обе катушки имеют одинаковую полярность.

Предположим, что ток направлен в отогнутый выводной конец первого паза. Он будет обтекать первую катушечную группу по направлению часовой стрелки, затем перейдет по проводу 25-го паза на вторую катушечную группу, которую будет обтекать так же по часовой стрелке.

Следовательно, соединение катушечных групп выполнено правильно, так как полярность катушек соответствует положению их на статоре. Вывод, выходящий из 37-го паза, служит концом первой фазы и идет к дощечке зажимов. Других катушек в первой фазе нет, поэтому соединение катушечных групп в первой фазе на этом заканчивается.

Теперь надо решить, из какого паза взять начало второй фазы, изображенной штрих-пунктирной линией. Для этого необходимо познакомиться с понятием *электрические градусы*. Из геометрии известно, что окружность разбивается на 360°. Эти градусы называются геометрическими или пространственными. Поскольку статор и ротор представляют собой окружность, они всегда содержат 360 пространственных градусов. Число же электрических градусов в окружности статора может быть равно 360 или больше в целое число раз.

Если обмотка статора выполнена на два полюса, то число электрических градусов в окружности статора так же равно 360. Но если обмотка выполнена на четыре полюса, то за 360 электрических градусов следует принять часть окружности, на которой расположен один северный и один южный полюс. Так как вся окружность статора занимает четыре полюсных деления, то число электрических градусов будет в два раза больше, чем число пространственных градусов.

Таким образом, в четырехполюсной обмотке окружность статора содержит 720 электрических градусов, в шестиполюсной обмотке — 1080 электрических градусов и т. д. Из этого можно

группу на две (рис. 64), направляя лобовые части каждой половины катушечной группы в противоположные стороны. Тогда получим обмотку, у которой каждая катушечная группа будет состоять из двух катушек, а число катушечных групп при этом удвоится. На схеме видна и другая особенность этой обмотки: у нее лобовые части расположены не в двух, а в трех плоскостях, и поэтому обмотку называют *трехплоскостной*. Лобовые части этой обмотки в разрезе показаны на рис. 63, *б*.

К трехплоскостным обмоткам прибегают иногда и при четном числе катушечных групп, чтобы упростить укладку лобовых частей. Так, например, обмотку, схема которой изображена на рис. 59, можно выполнить также трехплоскостной с двумя катушками в катушечной группе. Рекомендуется выполнить эту схему самостоятельно.

Трехплоскостная обмотка имеет следующие преимущества перед двухплоскостной: отсутствие катушек с перекошенными лобовыми частями и более простые катушечные группы. Недостаток ее заключается в неодинаковой длине отдельных фаз.

Сравнивая схемы, показанные на рис. 59 и 64, видим, что у двухплоскостной обмотки в каждой фазе одинаковое число длинных и коротких катушек. Таким образом, развернутые длины всех фаз, а следовательно, и сопротивления их, одинаковы. На схеме трехплоскостной обмотки (рис. 64) видно, что первая фаза состоит из коротких катушек, вторая — из средних, третья — из длинных. Поэтому сопротивления фаз будут различными, что вносит несимметрию в обмотку.

§ 38. СОЕДИНЕНИЕ КАТУШЕЧНЫХ ГРУПП В ФАЗАХ

После укладки обмотки в пазы приступают к соединению катушечных групп в фазах. Для соединения от каждой катушечной группы выводят два вывода — начало и конец катушечной группы. Таким образом, общее число выводов в два раза больше числа катушечных групп. На дощечку зажимов от статорной обмотки должно быть выведено шесть выводов — начала и концы трех фаз. Остальные выводы должны быть соединены внутри каждой фазы. Выполнение этих соединений — самая сложная часть работы обмотчика; она требует знаний и навыка, так как при неправильном соединении катушечных групп машина не будет нормально работать. Соединения катушечных групп показаны в развернутой схеме (см. рис. 59). Эта обмотка имеет шесть катушечных групп. Сначала надо соединить катушечные группы в одной фазе.

Проследим, как выполнено соединение между катушечными группами первой фазы, начерченной сплошными линиями. Вывод, выходящий из 1-го паза, является началом катушечной

ны в двух плоскостях, поэтому обмотку называют *двухплоскостной.*

Число пар полюсов может быть и нечетным. Например: число пазов z равно 36, число полюсов $2p$ составляет 6. Для этой обмотки число катушечных групп по формуле (11)

$$k = 3p = 3 \cdot 3 = 9.$$

При нечетном числе катушечных групп одна из них получается с перекошенными лобовыми частями.

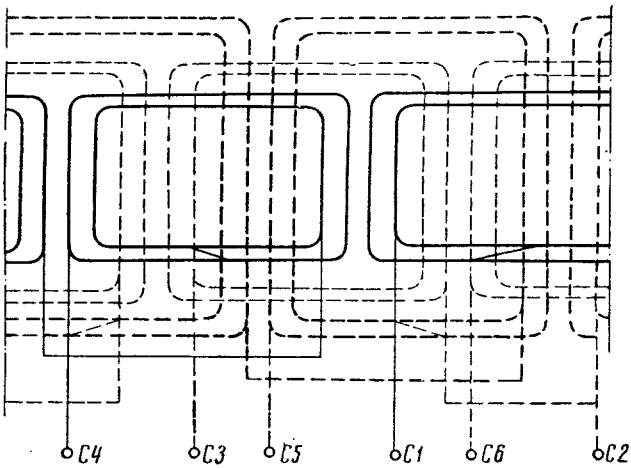


Рис. 64. Схема трехплоскостной обмотки

Выполнение катушек с перекошенными лобовыми частями не представляет больших трудностей в обмотках из круглого провода. Но при жестких катушках эту катушечную группу нужно изготовлять на специальном шаблоне. Если такую обмотку применяют в роторе, то вследствие неодинакового веса лобовых частей ротор при вращении вибрирует и его трудно сбалансировать.

В машинах с жесткими катушками следует избегать применения перекошенных катушек. Этого можно добиться, искусственно увеличив число катушечных групп. Разберем такой пример. Имеется обмотка со следующими техническими данными: $z=24$, $2p=2$ и $q=4$.

Число катушечных групп у такой обмотки $k=3p=3$. Так как число катушечных групп нечетное, то одна катушечная группа получится с перекошенными лобовыми частями. Но можно схему обмотки построить иначе. Разделим каждую катушечную

ных групп, или, другими словами, число катушечных групп в полтора раза больше числа полюсов. Формулы это выражают так:

$$2p = 2/3\,k; \tag{10}$$

$$k = 3p. \tag{11}$$

Как видно на схеме (см. рис. 59), обмотка имеет шесть катушечных групп. Следовательно, в этой обмотке

$$2p = \frac{2 \cdot 6}{3} = 4.$$

Катушечные группы в фазе соединены последовательно, значит число параллельных ветвей в фазе a равно 1.

Число пазов статора трехфазной машины не может быть произвольным. Оно выражается следующей формулой:

$$z = 2pmq. \tag{12}$$

Формулой (12) следует пользоваться при расчетах обмоток машин переменного тока. Число пазов на полюс и фазу может быть не только целым, но и дробным (см. § 48).

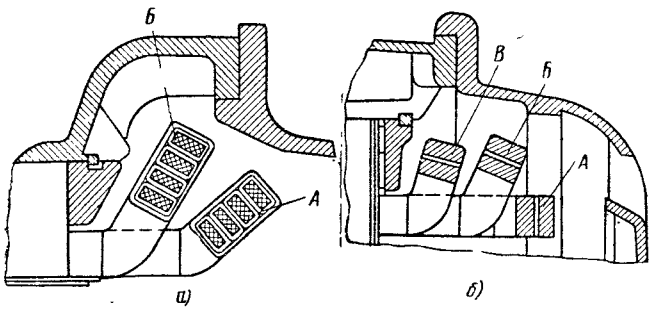


Рис. 63. Лобовые части концентрических обмоток:
а — двухплоскостной, *б* — трехплоскостной

Из формулы (11) видно, что при четном числе пар полюсов число катушечных групп получается также четное. Значит, их можно разделить поровну на два вида — катушечные группы с длинными лобовыми частями и катушечные группы с короткими лобовыми частями.

На рис. 63, *а* показаны в разрезе лобовые части обмотки, схема которой изображена на рис. 59. Лобовые части, обозначенные *А*, соответствуют длинным катушкам на схеме, а лобовые части, обозначенные *Б*, соответствуют коротким катушкам на схеме. Таким образом, у этой обмотки лобовые части расположе-

Так, например, для обмотки, изображенной на рис. 59, шаг обмотки будет:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{48}{4} = 12.$$

Шагом называют расстояние между сторонами катушки, выраженное разностью номеров пазов, в которых лежат стороны катушек. Как видно на схеме (рис. 59), у катушек одной катушечной группы шаги разные и выражаются числами: 13—4=9; 14—3=11; 15—2=13 и 16—1=15. Для концентрической обмотки расчетная величина шага по формуле (8) является средней арифметической между шагами отдельных катушек. Действительно $\frac{9+11+13+15}{4}=12$.

Если на схеме или на чертеже будет указано, что шаг обмотки по пазам равен 12, то это может быть неправильно понято. Неопытный обмотчик может подумать, что если одна сторона катушки лежит в 1-м пазу, то вторую сторону катушки надо положить в 12-й паз. Во избежание таких недоразумений обычно на схемах и чертежах шаг обмотки указывают двумя числами, выражающими номера пазов, в которых лежат стороны катушки. Поэтому вместо $y_z=12$ пишут: шаг обмотки 1—13. Это читают так: шаг обмотки из первого паза в тринадцатый.

В обмотках машин переменного тока есть еще один важный показатель, называемый *числом пазов на полюс и фазу* и обозначаемый буквой q.

Число пазов на полюс и фазу можно определить по формуле

$$q = \frac{z}{2pm}. \qquad (9)$$

Для обмотки, схема которой показана на рис. 59,

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4.$$

В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу видно на схеме. Это число катушек в катушечной группе.

В статорах машин трехфазного тока нет явно выраженных полюсов, как в машинах постоянного тока, однако в концентрической обмотке число полюсов можно легко определить по внешнему виду обмотки. Это связано с тем, что в трехфазной двухполюсной обмотке катушки трех фаз образуют два полюса — северный и южный.

Исходя из этого, можно установить зависимость между числом катушечных групп k и числом полюсов $2p$. Очевидно, что на каждые три катушечные группы приходится два полюса, следовательно, число полюсов составляет две трети от числа катушеч-

обмотки, как в отношении лучшего заполнения паза, так и технологии укладки в полузакрытые пазы.

Для однослойных обмоток имеются полуавтоматические обмоточные станки, в то время как для двухслойных обмоток такие станки еще не разработаны. Таким образом, концентрические обмотки машин переменного тока прочно удерживают свое место в асинхронных двигателях мощностью до 3 *квт* и в микромашинах как трехфазного, так и однофазного тока.

Равнокатушечные обмотки были разработаны для машин малой мощности с полузакрытыми пазами. При малом числе полюсов катушечные группы были слишком громоздкими и для их разгрузки были применены равнокатушечные обмотки «вразвалку», у которых число катушек в группе вдвое меньше. Цепные обмотки являются разновидностью равнокатушечных с несколько более удобной укладкой лобовых частей.

Однослойные обмотки широко применяют в качестве обмоток статора однофазных двигателей с пусковыми обмотками, а также в конденсаторных двигателях. Хотя в последнее время их все чаще заменяют двухслойными с укороченным шагом.

Во всех турбогенераторах с цельнокованым ротором однослойные концентрические обмотки возбуждения являются пока единственной конструкцией, оправдавшей себя в эксплуатации. Меняются изоляционные материалы, принципы охлаждения, в том числе с непосредственным протеканием охлаждающих агентов через полые провода обмотки, но принцип конструкции и схема обмотки остаются прежними.

§ 37. СХЕМЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Трехфазная концентрическая обмотка (см. рис. 59 и 60) состоит из катушек, стороны которых расположены в пазах так, что катушки обмотки концентрически охватывают одна другую. Отсюда обмотка и получила свое название.

Для составления схемы обмотки надо знать схему соединения фаз и следующие величины:

z — число пазов статора или ротора;

$2p$ — число полюсов;

m — число фаз;

y_z — шаг обмотки;

a — число параллельных ветвей обмотки.

Шаг обмотки определяют по формуле

$$y_z = \frac{z}{2p}. \qquad (8)$$

ГЛАВА IX

ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРА И РОТОРА

§ 36. ТИПЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Однослойными называются обмотки, у которых в пазу лежит сторона только одной катушки. К однослойным обмоткам относятся:

концентрическая трехфазная двухплоскостная и трехплоскостная;

равнокатушечная трехфазная (простая, «вразвалку», цепная);

обмотка статора однофазного двигателя;

обмотка ротора турбогенератора.

Концентрическую трехфазную обмотку можно назвать родоначальницей всех обмоток машин переменного тока, так как до 30-х годов она имела почти исключительное применение в диапазоне мощностей от 1 *квт* до десятков тысяч киловатт. С концентрическими обмотками статора и ротора строили как низковольтные, так и высоковольтные машины. В то время почти все машины переменного тока имели пазы закрытой формы, поэтому технология выполнения и укладки обмоток была очень сложной. В эксплуатации еще есть много машин с концентрическими обмотками, которые периодически попадают на заводы для ремонта.

В 30-х годах концентрические обмотки были почти полностью заменены двухслойными с укороченным шагом. Концентрические обмотки сохранились только в роторах асинхронных двигателей малой мощности, так как обмотки ротора выполняют без укорочения шага. Однако при разработке единой серии асинхронных двигателей в первых двух габаритах опять вернулись к концентрическим обмоткам. Это объясняется тем, что для двигателей массового производства они выгоднее, чем двухслойные

Чтобы присоединить обмотку к трехфазной сети, надо шесть выводов обмотки соединить в звезду или треугольник. Соединение фаз обмотки должно быть выполнено в зависимости от напряжения сети. Например, если двигатель изготовлен на напряжение 220/380 *в*, то для присоединения к сети напряжением 220 *в* обмотка должна быть соединена в треугольник (рис. 61, *а*). Тогда на зажимах фазы обмотки будет напряжение 220 *в*, как и в линии. Если же двигатель должен быть присоединен к трехфазной сети напряжением 380 *в*, то соединение фаз обмотки должно быть выполнено в звезду (рис. 61, *б*). При этом напряжение на зажимах фазы обмотки будет 380 : 1,73 = 220 *в*, т. е. напряжение фазы обмотки сохранится прежним.

У двигателей старых типов переключение обмотки со звезды на треугольник производилось путем перестановки перемычек между контактными болтами на дощечке зажимов. На рис. 62 показано положение перемычек при соединении схемы обмотки в звезду и в треугольник. При этом концы фаз подключены к контактным болтам в порядке следования номеров фаз, а начала фаз передвинуты так, что над концом третьей фазы расположено начало первой, над концом второй — начало третьей и над концом первой — начало второй фазы.

Для сравнения на рис. 60 показана торцовая схема этой же обмотки без соединений между катушечными группами. Здесь каждый паз статора изображен в виде черной точки, а лобовые соединения — в виде дуг. Торцовые схемы наглядно показывают размещение катушечных групп на статоре, но на них трудно показать соединения между катушечными группами. Торцовые схемы имеют практическое значение при изучении обмоток ротора (гл. XI).

Для двухслойных обмоток машин переменного тока в заводской практике пользуются упрощенными схемами, которые рассматриваются в § 49. В крупных машинах при большом числе пазов и упрощенные схемы сложны для пользования, так как в них много пересекающихся соединений. Особенно усложняются схемы обмоток при наличии в них параллельных ветвей. Поэтому в производстве электромашиностроительных заводов распространены обмоточные таблицы.

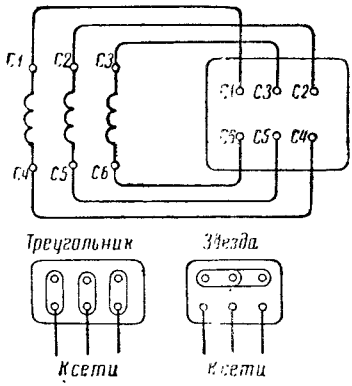


Рис. 62. Схема дощечки зажимов

В таблицах нет никаких изображений обмотки, а номера соединяемых проводов или пазов, в которых провода расположены, обозначены числами, написанными через тире. Поскольку таблицы лишены наглядности, по ним нельзя изучать разные типы обмоток. Пользоваться таблицами, а тем более составлять их, можно, только изучив правила соединений в данном типе обмотки. Составление обмоточных таблиц для обмоток разных типов разобрано в § 49; 60 и 69.

Научить разбираться в схемах обмоток — задача теоретического обучения обмотчиков электрических машин. Поэтому в следующих главах приводятся подробный разбор общих правил построения схем и примеры их выполнения для различных типов обмоток. В целях лучшего усвоения схем рекомендуется наряду с рассмотрением готовых схем вычерчивать их самостоятельно.

Почти все асинхронные двигатели выпускают на два напряжения трехфазной сети, например 127/220 или 220/380 *в*. Такие двигатели всегда имеют шесть выводов от обмотки статора, из которых три являются началами, а другие три — концами фаз. Обычно все шесть выводов присоединяют к зажимам на специальной дощечке или выводят гибкими проводами с резиновой изоляцией, на которые надевают бирки с обозначениями выводов согласно ГОСТ 183—55.

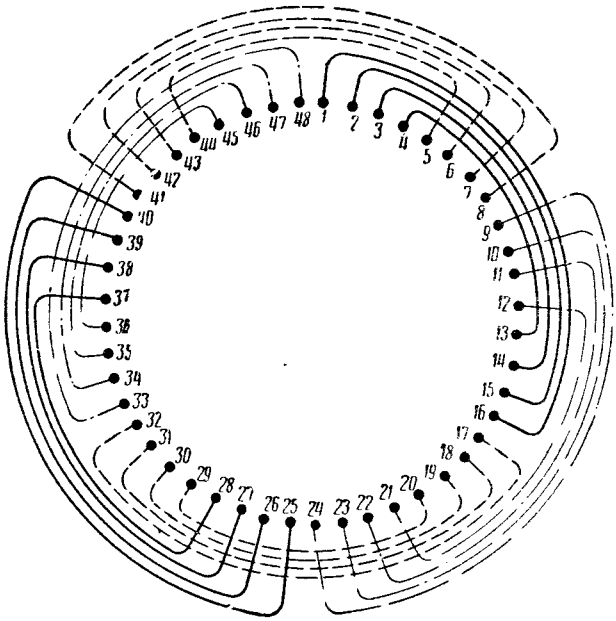


Рис. 60. Торцовая схема концентрической обмотки

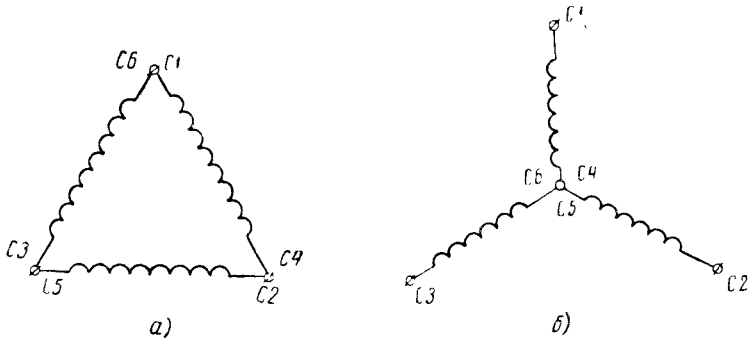


Рис. 61. Соединение фаз трехфазной обмотки
а — в треугольник, *б* — в звезду

U, *V*, *W*; или начала фаз — буквами *A*, *B*, *C*, а концы фаз — соответственно *X*, *Y*, *Z*.

Трехфазная обмотка ротора имеет следующие обозначения выводов, подводимых к контактным кольцам:

P1 — от первой фазы;
P2 — » второй » ;
P3 — » третьей » .

Существуют два основных вида схем обмоток — развернутые и торцовые.

На рис. 59 показана развернутая схема концентрической трехфазной однослойной обмотки статора. На этой схеме видны и провода, лежащие в пазах, и лобовые соединения с обеих сторон статора. Некоторое затруднение для чтения развернутой схемы заключается в том, что начало и конец развертки, которые на статоре лежат рядом, на развернутой схеме получаются удаленными друг от друга на всю длину схемы, а соединения лобовых частей обмотки оказываются при этом разрезанными. При чтении схемы приходится мысленно прослеживать соединения от конца схемы к началу, подобно тому, как при чтении книги переходят от конца одной строки к началу следующей. При составлении схемы надо выбрать место разреза таким образом, чтобы наименьшее количество лобовых соединений оказалось разрезанным, а по отношению к катушкам, — чтобы линия разреза располагалась симметрично.

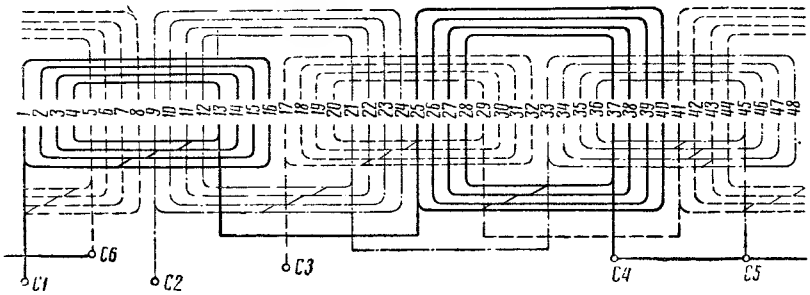


Рис. 59. Развернутая схема концентрической обмотки

На схеме катушки трех фаз изображены разными линиями.

Пазы статора показаны вертикальными черточками. В разрывах черточек проставлены номера пазов. Каждая катушка изображена замкнутым прямоугольником, а переходы между катушками — косыми черточками. На схеме видно, что катушечная группа состоит из четырех катушек, которые концентрически охватывают одна другую. Следовательно, это концентрическая обмотка.

вызвать пробой изоляции на корпус. Выводные концы обмотки ротора должны быть надежно изолированы, так как при нарушении их изоляции обмотка ротора замкнется на корпус в отверстии вала.

§ 35. СХЕМЫ ОБМОТОК

На чертежах можно изобразить только отдельные части обмоток, например катушки, их укладку в пазы и укладку лобовых частей на обмоткодержателях. На общих видах машин показывают расположение обмоток и их выводы. Что касается соединений между катушками, обмоткой якоря и коллектором, соединений между полюсными катушками, то их нельзя изобразить на чертежах. Для этой цели служат схемы обмоток.

Схема отличается от чертежа тем, что на ней элементы обмотки изображают условными линиями или обозначениями. Все детали, кроме проводов обмотки, обычно на схеме не показывают, чтобы не загромождать ее излишними изображениями, затрудняющими чтение схемы. Исключение составляют лишь такие детали, как выводные зажимы, контактные кольца, пластины коллектора, к которым присоединяют концы обмотки. Эти детали изображают на схеме условными знаками. Изображение их часто требуется для указания того места в машине, от которого обмотка должна начинаться.

При составлении схем допускают еще больше условностей, чем в чертежах обмоток. Например, если катушка намотана в несколько параллельных проводов, то на схеме ее изображают одной линией, как и катушку, намотанную одним проводом. Обычно катушка имеет несколько витков, на схеме же ее изображают одной линией в виде замкнутой фигуры, напоминающей по форме катушку, от которой ответвляются только выводы катушки.

Схемы обычно изображают в одной проекции, а отличительные особенности верхних и нижних сторон катушек в пазах — различными линиями; например, верхние стороны проводят сплошными линиями, а нижние — штриховыми. В обмотках машин трехфазного тока провода фаз также изображают различными линиями — сплошной, штриховой и штрих-пунктирной.

Обозначение выводов обмоток, идущих на дощечку зажимов, установлены ГОСТ 183—55.

Трехфазная обмотка статора имеет следующие обозначения выводов:

C1 — начало первой фазы;	*C4* — конец первой фазы;
C2 — » второй » ;	*C5* — » второй » ;
C3 — » третьей » ;	*C6* — » третьей » .

У старых типов электрических машин начала фаз обозначались латинскими буквами *X, Y, Z,* а концы фаз — соответственно

В отверстия подшипниковых щитов вставлены наружные кольца подшипников качения: шарикового *15* со стороны контактных колец и роликового *3* со стороны выступающего конца вала *1*. Подшипники изнутри и снаружи закрыты чугунными крышками *2* и *16* для защиты от засорения и для предотвращения вытекания смазки из камеры подшипника. Смазка консистентная, закладывается при сборке двигателя и обеспечивает его работу в течение не меньше шести месяцев без смены смазки.

Листы ротора выштампованы из вырубок листов статора. Сердечник ротора разделен на такое же число пакетов, как и сердечник статора. Он зажат между двумя нажимными шайбами, из которых левая упирается в бортик вала, а правая запирается пружинным кольцом. Оно врезано в канавку, проточенную в валу. В закрытые пазы ротора вставлены стержни обмотки с гильзовой изоляцией. Вторые концы стержней выгнуты после вставки стержней в пазы. Стержни верхнего и нижнего слоя обмотки соединены хомутиками *7*, которые пропаяны. Лобовые части стержней опираются на обмоткодержатели, отлитые вместе с нажимными шайбами сердечника ротора.

Для предотвращения выгибания стержней под действием центробежной силы на их лобовые части намотаны проволочные бандажи из стальной проволоки. Витки бандажей скреплены скобочками из жести и пропаяны по всей окружности ротора. Бандажи не должны выступать за окружность ротора, иначе ротор нельзя будет вставить в расточку статора. Для этого лобовые части стержней в месте выхода из пазов выгибают.

Контактные кольца *18* собраны на изоляционных втулках и прикреплены болтами *20* к торцу вала. Расположение контактных колец за пределами внутреннего пространства двигателя предохраняет машину от засорения ее угольной пылью, образующейся в результате износа щеток, и облегчает доступ к контактным кольцам и щеткодержателям. Соединение колец с обмоткой ротора осуществляется гибкими кабелями *14*, проложенными через отверстие в валу.

Над контактными кольцами на изолированном болте укреплены щеткодержатели со щетками. Выводы от щеток подведены к коробке *21*. Они соединяют цепь обмотки ротора с пусковыми и регулировочными сопротивлениями. Контактные кольца и щеткодержатели закрыты коробкой *17*, торец которой защищен колпаком *19* с отверстиями для охлаждающего воздуха.

Для выполнения обмоточных операций обмотчику необходимо знать общее устройство электрической машины. Так, например, на рис. 58 видно, что увеличение вылета лобовых частей обмотки ротора приведет к задеванию крыльев вентилятора за диффузор, а выступание лобовых частей над окружностью ротора — к задеванию их за сердечник статора при сборке машины. Увеличение диаметра лобовых частей обмотки статора может

Между пакетами при помощи распорок образованы вентиляционные каналы *12,* через которые циркулирует воздух, охлаждающий активные части двигателя. Воздух засасывается вентиляционными каналами ротора, которые при вращении его действуют как вентиляторы. Между сердечниками статора и ротора образуется узкая кольцевая щель, которая называется воздушным зазором. В листах статора проштампованы пазы; в них вложены катушки *8* из меди прямоугольного сечения.

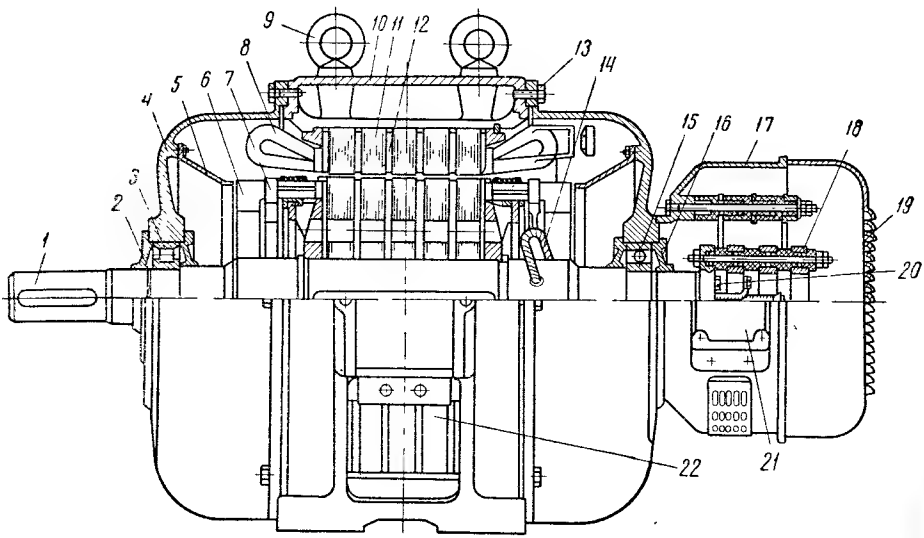


Рис. 58. Асинхронный двигатель АК

Выводы от обмотки статора подведены к контактам, помещенным в коробке *22,* закрытой крышкой. Для подъема двигателя в приливы станины ввернуты два стальных подъемных кольца *9.* К торцам статора болтами *13* привинчены подшипниковые щиты *4,* отлитые из чугуна. Они центрируются относительно станины на кольцевых заточках. Эти заточки обеспечивают равномерность воздушного зазора по окружности ротора.

Изнутри к подшипниковым щитам привинчены штампованные чашки *5,* называемые диффузорами. Они служат для направления охлаждающего воздуха. Воздух забирается через отверстия в торцовых частях подшипниковых щитов и крыльями *6* ротора прогоняется между лобовыми частями катушек статора. Выбрасывается воздух через отверстия на боковых сторонах станины. Кроме того, охлаждающий воздух проходит через выштампованные в листах ротора отверстия к радиальным вентиляционным каналам ротора и статора. Такая система вентиляции носит название радиальной двухсторонней.

ли и общесоюзные стандарты. После этого чертеж утверждают начальник бюро и главный конструктор.

Справа от названия чертежа в основной надписи поставлен номер чертежа, по которому его можно получить в архиве и в раздаточных. В нумерации чертежей первая цифра указывает класс изделия, где цифрой 5 обозначают группы и узлы изделия, а цифрой 8 — детали. На втором и третьем местах поставлены буквы БА, представляющие собой условный индекс завода, на котором этот чертеж разработан.

Классы изделия делят на секторы, секторы на виды, а виды на разновидности, номера которых определяют по классификатору. Они занимают четвертое, пятое и шестое места в номере чертежа. Данный чертеж относится к шестому сектору, седьмому виду и нулевой разновидности. Последние три цифры указывают порядковый регистрационный номер чертежа. Поскольку данный чертеж одновременно содержит в себе данные трех статоров, он занимает три номера (122; 123 и 124). Эти же девятизначные номера присваивают изделиям, изготовленным по этим чертежам.

Над основной надписью расположена спецификация, в которой каждая деталь или узел занимают одну строчку и называются *позициями*. Для одних позиций, например 3; 4; 5, в спецификации даны исчерпывающие данные о материале и его количестве. Для других в графе «Обозначение» указан номер чертежа, по которому эта деталь или узел изготовлены, например позиции 13; 14. Наконец, для третьих позиций в этой же графе написано «См. табл.». Это относится к тем деталям или узлам, которые зависят от длины сердечника. Технические данные их внесены в таблицу, расположенную над спецификацией. Там же указаны некоторые размеры, обозначенные на чертеже буквами, сопротивления обмоток и веса узлов и деталей.

Нет необходимости давать на сборочном чертеже большое количество проекций, так как детали на сборку поступают готовыми. Поэтому на нем дан только один продольный разрез, три дополнительных вида и разрез паза. Шаг катушек и соединения между ними показывают на схеме обмотки на отдельном чертеже.

При чтении чертежа находят ту или иную позицию на чертеже, смотрят в соответствующую номеру позиции строку спецификации, а если в ней имеется ссылка на таблицу, то в соответствующую строку таблицы.

На продольном разрезе асинхронного двигателя 10-го габарита с фазным ротором и с контактными кольцами (рис. 58) видно расположение обмоток статора и ротора. В чугунную литую станину *10* впрессованы пакеты статора *11,* собранные из тонких листов специальной электротехнической стали.

На чертеже показана катушка электродвигателя напряжением 3 *кв*. Провода *1* марки ППТБО скреплены вразбежку миткалевой лентой *3*, затем изолированы микалентой *2* до толщины изоляции 1,7 *мм* в пазовой части и 1,4 *мм* в лобовых частях. Поверх микаленты катушка снова изолирована миткалевой лентой на пазовой части в стык, а на лобовых частях — в нахлестку. Выводные концы скреплены с витками катушки шестью витками ниток корд. Изоляция провода на разрезах не показана для упрощения чертежа.

При создании серии электрических машин в целях унификации деталей и технологической оснастки два или несколько типов машин, близких по мощности, проектируют с одинаковыми диаметрами, но с разными длинами сердечников статора и ротора. Благодаря этому для всех машин данного габарита (диаметра) применяют одни и те же штампы для листов статора и ротора, одинаковые подшипниковые узлы и другие детали. Это способствует уменьшению количества типоразмеров, укрупнению партий обрабатываемых деталей и повышению производительности труда.

Чтобы уменьшить число узловых и сборочных чертежей, для двигателей всех длин данного габарита выпускают один общий чертеж и на нем помещают таблицу, в которой указывают технические данные для каждого двигателя.

Асинхронные двигатели единой серии имеют следующие обозначения типов. Буквой А обозначают вентилируемые продуваемые двигатели, буквами АО — закрытые обдуваемые снаружи двигатели, буквами АК — двигатели с фазным ротором и с контактными кольцами. После букв следуют цифры, из которых первые одна или две обозначают порядковый номер габарита, последняя — условный номер длины сердечников в данном габарите. Затем через тире пишут цифру, показывающую число полюсов обмотки статора.

На рис. 57 показан чертеж обмотанного статора, который служит для статоров всех трех длин двухполюсных закрытых обдуваемых электродвигателей 10-го габарита. В правом нижнем углу чертежа помещена основная надпись. В ней обозначено название чертежа (статор), а слева от него — табличка для внесения изменений и подписи лиц, ответственных за правильность чертежа.

Выпуск чертежа в производство является очень важным делом, так как ошибка в чертеже приведет к тому, что все изготовленные по нему детали будут браком и часто неисправимым. Поэтому чертеж подписывает конструктор, который его разработал, затем проверяет и подписывает ведущий конструктор. Подпись технолога означает, что на эту деталь или узел разработана технологическая оснастка. Подпись контролера Бюро нормализации (НК) означает, что в чертеже учтены заводские норма-

Обозначение	Тип	Поз 1	Поз 2	Поз 8	Поз 9	Поз 10	Поз 11	Поз 17	Поз 18	Поз 19	Поз 20	Поз 21	Поз 22	Поз 23	Поз 24	Кол.	L	L_1 max	L_2 max	Сопротивление фазы при 15°С, ом	Вес, кг
		Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Обозначение	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Размеры	Обозначение	Обозначение						
56А.670122	А0101-2	56А 524 340	56А.524.337	56А 672.030	56А.500.035	56А 500.036	56А 500 037	0,5×10,7×260	0,2×130×260	0,2×130×260	0,2×150×260	1×9,7 $^{+0,3}_{-0,3}$ ×320	0,2×10×260	—	86А.783 073	96	62	40	12	0,0238	319
56А.670123	А 0102-2	56А 524 341	56А 524.338	56А.672.031	56А.500.035	56А.500.036	56А.500 037	1×10,7×315	0,2×130×315	0,2×130×315	0,2×150×315	1×9,7 $^{+0,3}_{-0,3}$ ×375	1×10×315	86Н 783 073	86А.783 075	48	34	65	15	0,0191	887
56А.670124	А 0103-2	56А 524 342	56А 524.339	56А 672.032	56А.500.038	56А 500.039	56А 500.040	1×10,7×380	0,2×130×380	0,2×130×380	0,2×150×380	1×9,7 $^{+0,3}_{-0,3}$ ×440	1×10×380	—	86А 783 075	96	5	97	48	0,0136	974

N поз	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
31	86Н 760 033	Прокладка	36	
30		Нитки кора 37/3/3 0,8 ТУ по ГОСТ 768-50	2,5м	
29		Миканит прокладочный ЛФ42 ГОСТ 6121-52 1×15×1200	2	
28	86А.155.015	Прокладка	96	
27	86А.155.016	Прокладка	96	
26		Картон ЭВ 1сорт ГОСТ 28-24-56 0,2×11,5×520	6	
25		Картон ЭВ 1сорт 1×10×1320 ГОСТ 2824-56	6	
24	См табл	Клин пазовый	См табл	
23	См. табл	Клин пазовый	48	
22		Картон ЭВ 1сорт ГОСТ 2824-56 (размеры см в табл.)	48	
21		Миканит прокладочный ЛФ42 ГОСТ 6121-52 (размеры см. в табл)	48	
20		Картон ЭВ 1сорт ГОСТ 2824-56 (размеры см в табл)	48	
19		Миканит гибкий ГФЭ ГОСТ 6120-52 (размеры см в табл.)	48	
18		Картон ЭВ 1сорт ГОСТ 2824-56 (размеры см в табл)	48	
17		Картон ЭВ 1сорт ГОСТ 2824-56 (размеры см в тибл)	48	
16		Проволока медная МГМ 12,5×2,83 ГОСТ 434-52	3м	
15		Шнур льно пеньковый ЛК 1,5 ГОСТ 5107-49	290м	
14	86Н 760.006	Прокладка изолирующая	9	
13	86Н. 760. 021	Прокладка изолирующая	9	
12		Стеклолакоткань эскапоновая ЛСЭ-10.2×20 ВТУ № ИК 68-57	30м	
11	См табл	Кабель	2	
10	См табл	Кабель	2	
9	См табл	Кабель	2	
8	См. табл	Статор необмотанный	1	
7	86Н.217.585	Кольцо бандажное	2	
6		Стеклолакоткань эскапоновая ЛСЭ-10,2×30 ВТУ № ИК-68-57	40м	
5		Лента стеклянная 0,1×20 ГОСТ 5937-56	43м	
4		Картон ЭВ 1сорт 1×20×1500 ГОСТ 2824-56	2	
3		Шнур льно-пеньковый ПК2 ГОСТ 5107-49	80м	
2	См табл.	Катушка	42	
1	См табл.	Катушка	6	

Изм. Кол. Nдокум. Подпись Дата

Конструктор

Проверил

Технолог

Нормокон.

Нач. бюро

Гл. констр.

Статор

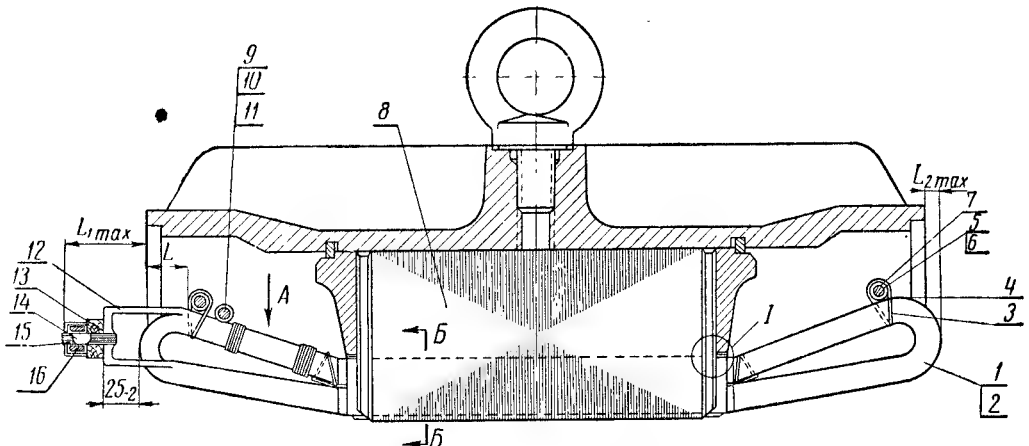
56А.670.122-124

Литера | Вес | Масшт.

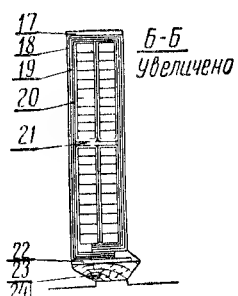
См. табл. | 1:2

Лист 1 | Всего листов 1

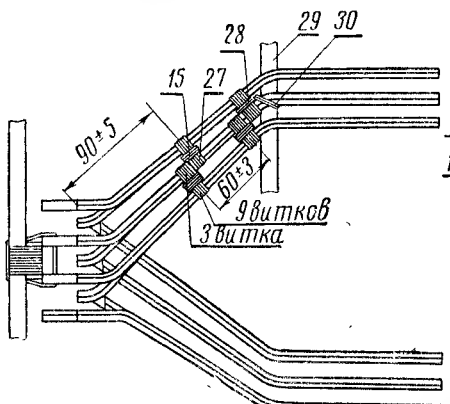
Рис. 57. Чертеж обмотанного статора



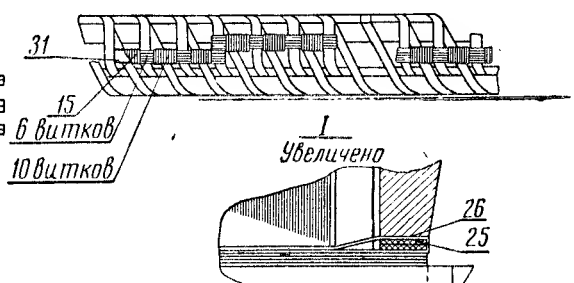
Вид А (бандажное кольцо снято)



Б-Б
увеличено



Крепление междукатушечных соединений



На чертеже даны все размеры, по которым технологи рассчитывают намоточный шаблон, рихтовочное приспособление и прессующие планки для пазовой части катушки. По размеру 220 *мм*, радиусам 305 и 280 *мм* и углу 45° настраивают станок для радиальной растяжки намотанной заготовки-лодочки. Все размеры на чертеже даны с допусками на изготовление. Так, например, общая длина катушки между головками указана 660±5 *мм*. Это значит, что при приемке катушки считают годны-

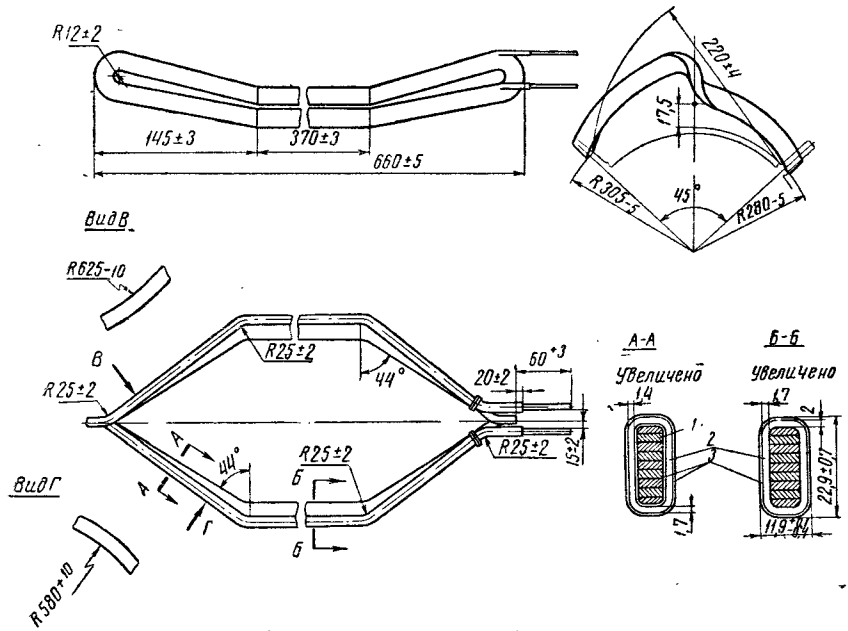


Рис. 56. Чертеж катушки обмотки статора

ми, если их длина находится в пределах от 655 до 665 *мм*. На разрезе даны более жесткие допуски: ±0,7 *мм* по высоте и $^{+0,1}_{-0,4}$ по ширине. Они обеспечиваются прессовкой пазовой части.

Ни в коем случае не разрешается определять размеры изделия по масштабу, прикладывая к чертежу линейку с делениями, так как изображение на чертеже может быть неточным. Для этого имеются размерные числа на чертеже. Также нельзя определять число витков, пересчитывая их на сечении катушки по чертежу, так как легко можно ошибиться ввиду наличия в катушках переходных витков. Действительное число витков, марку и размеры провода и изоляционных материалов указывают в специальной таблице и в спецификации чертежа, которая на рис. 56 не показана. На полях чертежа указывают технические требования по изготовлению и контролю катушек.

Всякие изменения в чертежах допускаются по специальным разрешениям и выполняются конструкторами. Об изменении чертежа вносят запись в специальную табличку слева от основной надписи.

§ 34. ЧЕРТЕЖИ ОБМОТОК

Чертежи и схемы обмоток изображают так же, как и чертежи и схемы различных деталей. На чертежах сосредоточивают сведения, относящиеся к изготовлению элементов обмоток и укладке их в пазы, на схемах показывают соединения между элементами обмоток и с выводами. В обмоточном производстве чертежи отдельных деталей (пазовые клинья, соединительные скобочки и др.) имеют ограниченное применение. Чертеж катушки или стержня обмотки является уже узловым чертежом, так как в его спецификацию входят несколько позиций: обмоточная медь, ее изоляция, состоящая из нескольких материалов, и вспомогательные материалы, служащие для закрепления изоляции. Что касается чертежей обмотанного статора или якоря, то это уже чертежи групп электрической машины, так как в их спецификации входят более мелкие узлы, как например, сердечник статора, коллектор, якорь необмотанный и др.

Чертежи обмоток в основном выполняют по общим правилам прямоугольного проектирования, однако в них имеются некоторые особенности, которые надо знать, чтобы правильно читать и понимать их. Так, например, на разрезах пазов, которые всегда выполняют в увеличенном масштабе, для упрощения вычерчивания окружность статора или ротора изображают отрезком прямой линии. Ввиду того что толщина изоляции мала по сравнению с размерами обмоточной меди, слои изоляции не разделяют линиями, а изображают одной полоской. Линиями отделяют только разные изоляционные материалы, наложенные на катушку, и то лишь в чертежах, начерченных в крупном масштабе. Число слоев изоляции на чертежах указывают словами. В обмотках с большим числом витков тонкого сечения разрезы обмотки штрихуют в виде прямоугольной частой сетки без изображения витков обмоточного провода. При небольшом числе проводов в разрезах обмотки указывают их расположение. Имеются и другие особенности, которые будут рассмотрены при разборе чертежей.

На рис. 56 показан узловой чертеж катушки статорной обмотки асинхронного электродвигателя. На чертеже катушка изображена в трех проекциях: вид спереди, вид сверху и вид слева. Кроме того, чтобы показать радиусы изгиба лобовых частей, даны виды по стрелкам *В* и *Г*. Расположение проводов катушки и ее изоляция показаны на разрезах *А — А* для лобовой части катушки и *Б—Б* для пазовой ее части. Разрезы увеличены в 5 раз по сравнению с другими проекциями.

масштабов чертежа размерные числа выражают действительные, а не уменьшенные или увеличенные размеры детали.

Для изготовления изделия нужны не только размеры детали, но и другие данные, определяющие качество изделия, например материал, из которого деталь должна быть изготовлена, его термообработка, шероховатость поверхности детали, гальванические и другие покрытия. Материал детали указывают в спецификации чертежа, остальные требования обозначают словами или условными знаками на чертеже.

Для обозначения шероховатости поверхности установлены *классы чистоты.* Чем выше номер класса, тем более ровной и гладкой должна быть поверхность детали. Знак чистоты поверхности, указываемый на чертеже, представляет собой треугольник, опирающийся вершиной на поверхность детали или линию, служащую продолжением контура детали. Около треугольника справа пишут число, обозначающее класс чистоты. Если все поверхности детали должны иметь одинаковую чистоту, то знак ставят в правом верхнем углу чертежа вместо обозначений на поверхности детали.

Сложные изделия подразделяют на несколько составных частей, собранных из отдельных деталей. Такие части называются *узлами.* В состав сложного изделия могут входить более крупные части, называемые *группами,* которые объединяют несколько узлов, составляя таким образом одну из основных частей изделия. Чертежи, изображающие изделия, группы или узлы в собранном виде и содержащие необходимые данные для их комплектования, сборки, обработки и контроля, называются *сборочными.*

Каждый сборочный чертеж должен иметь *спецификацию,* помещенную над основной надписью. Спецификация содержит перечень всех деталей (позиций), из которых должны быть собраны узел, группа или изделие, а также данные, необходимые для их комплектования. Около каждой детали, изображенной на сборочном чертеже, наносят ее порядковый номер, указанный в первой графе спецификации. Это дает возможность сопоставлять данные спецификации с изображениями на сборочном чертеже. Строки спецификации нумеруют снизу вверх, чтобы можно было вносить в нее новые позиции, обозначив их следующими по порядку номерами.

Каждому чертежу присваивают номер, по которому можно получить чертеж в техническом архиве. Чертежи нумеруют по стандартной десятичной схеме. Введение единой стандартной системы чертежей имеет важное значение в народном хозяйстве СССР, так как это позволяет передавать чертежи с одного завода на другой.

Категорически запрещается самовольно делать на чертежах, находящихся в производстве, какие-либо надписи или вносить в них исправления, даже если в чертеже обнаружена ошибка.

Чертежи выполняют линиями разной толщины и разных видов. Контур детали и видимые линии переходов проводят сплошными линиями, толщину которых берут в зависимости от величины детали и сложности изображения. Линии невидимого контура, находящегося с противоположной стороны детали или внутри ее, выполняют штриховыми линиями. Осевые и центровые линии проводят штрих-пунктирными тонкими линиями. Линии обрыва выполняют волнистыми сплошными линиями.

Чтобы лучше показать внутреннее устройство полых деталей, пользуются разрезами. Разрезом называется условное изображение предмета, мысленно рассеченного плоскостью. На разрезе часть предмета, расположенную между наблюдателем и секущей плоскостью, условно удаляют и вычерчивают то, что лежит в секущей плоскости (сечение), и то, что расположено за ней. При выполнении разрезов сечения выделяют штриховкой.

Размеры на чертежах указывают размерными линиями и размерными числами. Размерные линии оканчиваются стрелками, упирающимися в выносные и контурные линии. Над размерными линиями пишут числа, выражающие размеры в миллиметрах для линейных размеров и в градусах, минутах и секундах для угловых размеров. Размерное число показывает так называемый номинальный размер детали.

При сборке сопрягаемые детали должны подходить одна к другой без дополнительной обработки. Такая взаимозаменяемость деталей достигается не получением совершенно одинаковых размеров деталей, а выполнением этих размеров с отклонениями в заданных пределах. Разность между наибольшим и наименьшим предельным размером детали называется *допуском*. Допуски указывают на чертежах около номинальных размеров.

Не всегда предмет может быть изображен на чертеже в натуральную величину. Иногда он настолько мал, что при таком изображении трудно было бы рассмотреть на чертеже его форму и проставить все необходимые размеры, а иногда так велик, что для его изображения потребовался бы слишком большой чертеж, неудобный для пользования в производстве. Такие предметы изображают с увеличением или уменьшением по сравнению с их действительными размерами и на чертежах обозначают масштабы.

Масштаб — это отношение линейных размеров изображения на чертеже к размерам самого предмета. Наиболее употребительными являются масштабы уменьшения М1 : 2, М1:5 и масштабы увеличения М2 : 1, М5 : 1. Если предмет вычерчен в натуральную величину, то на чертеже обозначают масштаб М1 : 1. Масштаб чертежа указывают в специальной графе основной надписи чертежа. Иногда отдельные изображения вычерчивают в разных масштабах. Тогда около каждого такого изображения проставляют масштаб, в котором он выполнен. Независимо от

ГЛАВА VIII

ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ ОБМОТОК

§ 33. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЧЕРТЕЖАХ

Производство каждой новой машины начинается с конструкторской подготовки, в процессе которой производят расчеты машины, разрабатывают ее конструкцию и изготовляют рабочие чертежи со спецификациями. Конструкторской подготовкой производства на заводе занимается отдел главного конструктора (ОГК), состоящий из расчетного и конструкторского бюро.

Конструкторская подготовка производства новой машины состоит из следующих этапов:

составление технического задания;
выполнение технического проекта;
изготовление рабочих чертежей;
изготовление опытного образца машины.

Техническое задание на новую машину включает ее номинальные данные (мощность, скорость вращения, напряжение), а также форму исполнения, способ защиты, особые требования и т. п.

Технический проект содержит расчеты машины и проектные чертежи общих видов.

Рабочие чертежи разделяют на чертежи общих видов, сборочные и чертежи деталей. Чертежи выполняют на прозрачной бумаге. Они являются основными чертежами (оригиналами) и хранятся в архиве. Для работы в производственных цехах и отделах с них снимают копии методом светокопирования или фотографирования.

В технике для выполнения чертежей применяют способ прямоугольного проектирования. Прямоугольной проекцией точки на плоскость называется основание перпендикуляра, опущенного из данной точки на плоскость. При проектировании плоской фигуры, ограниченной прямыми отрезками, строят проекции всех характерных точек ее контура и соединяют их прямыми линиями.

отдельных полосок. Поверхность изоляции также покрывают лаком и сушат на воздухе.

Чтобы придать катушке окончательные размеры и склеить витки, ее запекают. Для этого на плиту пресса кладут нижнее стальное кольцо *1* (рис. 55), на него изоляционную прокладку *4* и надевают катушку на оправку, изолируя ее от оправки прокладками *3* из стеклотекстолита. Над катушкой кладут верхнюю изоляционную прокладку *4* и стальное кольцо *1*. Опускают верхнюю плиту пресса, пока колонки *2* не будут зажаты.

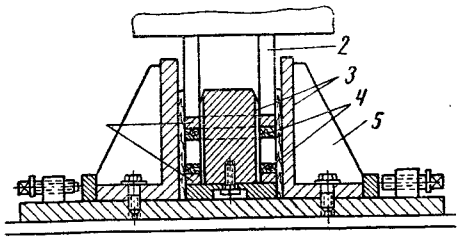


Рис. 55. Прессовка катушки, намотанной на ребро

Через витки катушки пропускают ток, нагревая ее до температуры 180—200° С. Во время нагревания катушку прессуют сверху колонками *2*, а с боков — угольниками *5*, изолированными от витков прокладками *3*. Затем выключают ток и прессуют катушку, пока ее высота не будет равна высоте, указанной на чертеже. После остывания катушки снимают давление пресса, освобождают ее от прессующих приспособлений и снимают с оправки. Выступающие края асбестовых прокладок между витками снимают скребками вровень с поверхностью катушки и боковые ее поверхности покрывают электроэмалью.

Для устранения операции снятия утолщений в местах закруглений на заводе «Электросила» был разработан специальный профиль медных шин со снятыми фасками на внутренней стороне закругления (см. рис. 52). При этом утолщение не выходит за пределы описанного прямоугольника и снимать его не приходится. Кроме того, применение специального профиля имеет ряд достоинств.

Катушка полюса мощного гидрогенератора весит 500—600 *кг*, поэтому она состоит из 6—8 секций, которые после намотки сваривают. При этом много времени уходило на пригонку концов шин. Чтобы получить целое число витков, приходилось при сварке обрубать концы шин значительной длины. При применении специального профиля медных шин намотку ведут не отдельными секциями, а непрерывно. Конец одной бухты сваривают с началом другой в процессе намотки. Это дает экономию на один генератор около 1 *т* меди и 1000 час. рабочего времени.

Чтобы шина не выпучивалась после образования загиба, применены фиксаторы *9* (рис. 54, *а*). Зуб *19* фиксатора (рис. 54, *в*) врезан в основание оправки, и рабочая часть его выступает над ней. При движении оправки шина надавит на фиксатор и он опустится. Пройдя под головкой хобота и достигнув паза в головке, фиксатор выталкивается пружиной *20* и не позволяет шине отойти от оправки.

Для поднятия намотанного витка, который должен освободить место на оправке для следующего витка, служит клин *10* (рис. 54, *а*). При прямолинейном движении оправки клин попадает под виток и отделяет его от основания оправки. При повороте оправки виток поднимается на толщину клина. В дальнейшем виток смещается головкой хобота вверх по оправке и под действием следующих витков переходит на колонки *11*. Зажим *8* необходим только в начале намотки, так как в дальнейшем шина удерживается на оправке при помощи охватывающих ее витков.

Намотка катушки производится в такой последовательности. Наматывают число витков, превышающее число витков катушки на два-три витка. Затем перерезают шину и снимают намотанную катушку с требуемым числом витков. Оставшиеся на оправке два-три витка удерживают конец шины при намотке следующей катушки. По окончании бухты меди к концу шины приваривают начало шины от следующей бухты и продолжают намотку. Чтобы избежать задиров меди при прохождении ее под планкой головки хобота, на ней устанавливают масленку с фитильной смазкой шины машинным маслом. Поверхность плиты смазывают консистентной смазкой.

На станке можно наматывать катушки с разными размерами. Для этого в каждом случае надо заменять фасонную шестерню и оправку, а также прижимную планку головки хобота в соответствии с размерами сечения шины. Управление станком кнопочное и осуществляется одним рабочим.

После намотки выправляют неровности на поверхности витков и рихтуют катушку. Ее надевают на оправку и ударами стальной кувалды через фибровую пластину выравнивают витки. Для полного прилегания витков катушку подвергают холодной прессовке на оправке под гидравлическим прессом. Под нижний виток и поверх верхнего витка кладут массивные стальные кольца, между которыми и прессуют витки катушки. С боковых сторон витки поджимают прессующими угольниками.

Межвитковая изоляция состоит из полосок асбестовой бумаги, которые на 2 *мм* шире, чем медная шина. Их нарезают рычажными ножницами. Катушку укладывают на стеллаже и растягивают ее в виде спирали. На обе стороны катушки наклеивают полоски асбестовой бумаги глифталевым лаком, смещая стыки

Число пазов на полюс и фазу у этой обмотки:

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3.$$

Таким образом, в катушечной группе будут три катушки. Поэтому из нижней части 8-го паза переходим в верхнюю часть 2-го паза, а затем в нижнюю часть 9-го паза. Третья катушка соединится с верхней стороной 3-го паза и затем с нижней стороной 10-го паза. Это будет конец первой катушечной группы. Затем соединяем вторую катушечную группу обмотки, начиная с верхней части 4-го паза и т. д.

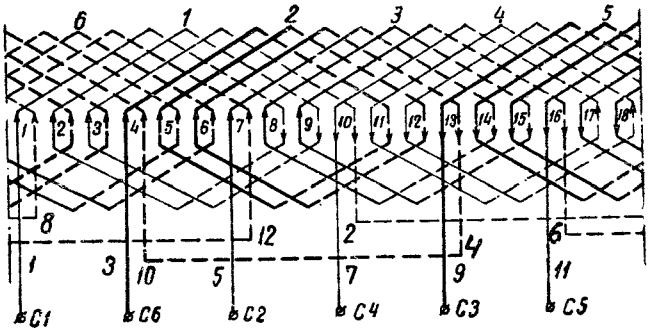


Рис. 80. Схема двухслойной обмотки статора

Теперь надо определить, где будет начало второй фазы. В данной обмотке число электрических градусов между соседними пазами:

$$\frac{360}{18} = 20 \text{ электрическим градусам.}$$

Расстояние же между началами фаз

$$\frac{120}{20} = 6 \text{ пазовым делениям.}$$

Начало второй фазы должно выйти из верхней части 7-го паза, а начало третьей фазы — из верхней части 13-го паза. Теперь осталось соединить катушечные группы в фазах, которые должны быть соединены последовательно, так как a равно 1. К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй — третья и шестая, к третьей — вторая и пятая. При соединении катушечных групп руководствуемся правилом для двухслойных обмоток, т. е. в первой фазе конец первой катушечной группы соединяем с концом четвертой, во второй фазе — конец третьей катушечной группы с концом шестой и т. д.

Для проверки правильности схемы поставим стрелки, указывающие направление тока в проводах. Направления токов возьмем такие же, как на схеме, показанной на рис. 65.

Когда расставим все стрелки, то увидим, что направлением стрелок обмотка делится на две зоны, что соответствует числу полюсов. Но в 8; 9; 17 и 18-м пазах направление токов в проводах паза встречное. Это объясняется тем, что обмотка имеет укороченный шаг. Обычно число пазов, в которых направление токов встречное, в каждой зоне равно числу, выражающему укорочение шага. Действительно, в данной обмотке укорочение шага 9—7=2, а расположение стрелок на проводах показывает, что обмотка выполнена правильно.

Второй проверкой может служить расположение концов фаз. Мы видим на схеме, что концы фаз так же, как и начала, удалены один от другого на 6 пазовых делений, т. е. на 120 электрических градусов.

Упражнения. Начертить схемы двухслойных обмоток по следующим данным:

1) $z=12,\ 2p=4,\ y_z=3;$
2) $z=18,\ 2p=2,\ y_z=8;$
3) $z=24,\ 2p=2,\ y_z=10;$
4) $z=36,\ 2p=6,\ y_z=5.$

§ 48. ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу не всегда бывает целым числом. Часто встречаются обмотки, у которых число пазов на полюс и фазу выражается целым числом с дробью. В асинхронных двигателях дробное число пазов на полюс и фазу обычно получают в тех случаях, когда один и тот же статор обматывают на разное число полюсов. Тогда при одном и том же числе пазов статора число пазов на полюс и фазу для одной обмотки получается целым, а для другой обмотки — дробным. Приведем пример этого.

Статор с 36 пазами обматывают на 6 полюсов. Такой двигатель имеет около 1000 *об/мин* и число пазов на полюс и фазу

$$q=\frac{36}{6\cdot 3}=2.$$

Пусть этот же двигатель требуется перемотать на меньшее число оборотов — 750 *об/мин*, т. е. на 8 полюсов. Тогда число пазов на полюс и фазу

$$q=\frac{36}{8\cdot 3}=1\frac{1}{2}.$$

В синхронных генераторах, когда число пазов на полюс и фазу меньше 4, его умышленно делают дробным при проектирова-

нии машины; этим улучшают электрические характеристики машин.

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу могут быть выполнены как из одиночных катушек, так и из намотанных непрерывным проводом катушечных групп. Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе обмотку приходится комбинировать из катушечных групп с разными числами катушек. При этом в каждой фазе должно быть одинаковое число пазов, иначе обмотка получится несимметричной.

Обычно обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу комбинируют из двух типов катушечных групп, причем в одной группе число катушек равно целой части числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, а в другой группе число катушек на одну больше.

Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2^1/_2$, то обмотку составляют из чередующихся групп, имеющих по две и три катушки. Причем после каждой группы из двух катушек следует группа из трех катушек.

Таким образом, в результате чередования число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{2+3}{2} = \frac{5}{2} = 2\frac{1}{2}.$$

Такое простое сочетание катушечных групп получают только в том случае, когда дробная часть числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, равна $^1/_2$. При других дробях комбинирование катушечных групп более сложно.

Иногда дробное сочетание выражают в виде неправильной дроби $q=\frac{c}{d}$. Для данного примера $c=5$; $d=2$.

Для получения симметрии обмотки необходимо, чтобы $\frac{z}{tm}$ равнялось целому числу, где

z — число пазов;

t — общий наибольший делитель для z и p;

m — число фаз.

Это условие является достаточным для двухслойной обмотки. Для однослойной обмотки необходимо, кроме того, чтобы $\frac{z}{2m}$ равнялось целому числу. Обмотка не будет симметричной, если знаменатель дроби равен трем. Тем не менее такие обмотки встречаются на практике.

Катушечные группы в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу легко распределить при помощи следующей таблицы. На миллиметровке составляют таблицу с числом строк, равным числу полюсов, и числом клеток в строке, равным $3c$,

где c — числитель неправильной дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Таблицу разделяют на три одинаковых по ширине столбца с числом клеток в столбце, равным c. Затем в клетки вписывают в последовательном порядке номера пазов с шагом между ними, равным d клеткам, где d — знаменатель дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Составим схему двухслойной обмотки со следующими данными: $z=27$; $2p=6$; $m=3$; $q=1\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$. Для этой обмотки $t=3$.

$$\frac{z}{tm}=\frac{27}{3\cdot 3}=3.$$

Таким образом, обмотка удовлетворяет условиям симметрии.

Составим таблицу обмотки для разобранного выше примера (табл. 2).

Таблица 2

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными: $z=27$; $2p=6$; $q=1\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$

Полюсы	Фаза *A*			Фаза *C*			Фаза *B*		
N	1		2		3		4		5
S		6		7		8		9	
N	10		11		12		13		14
S		15		16		17		18	
N	19		20		21		22		23
S		24		25		26		27	

Будем читать горизонтальные строки таблицы и записывать обозначения фаз столько раз, сколько номеров стоит в столбце фазы. Это покажет группировку катушек по фазам:

AA C BB A CC B AA C BB A CC B AA C BB A CC B.

Буквы обозначают фазы, а число одинаковых букв подряд показывает, сколько катушек содержится в катушечной группе.

Для данной обмотки необходимо заготовить 9 катушечных групп по две катушки и 9 одиночных. Они займут $(9 \cdot 2) + 9 = 27$ пазов.

При укладке в пазы следует согласно группировке после каждой катушечной группы, состоящей из двух катушек, класть катушечную группу, состоящую из одной катушки. Схема обмотки показана на рис. 81.

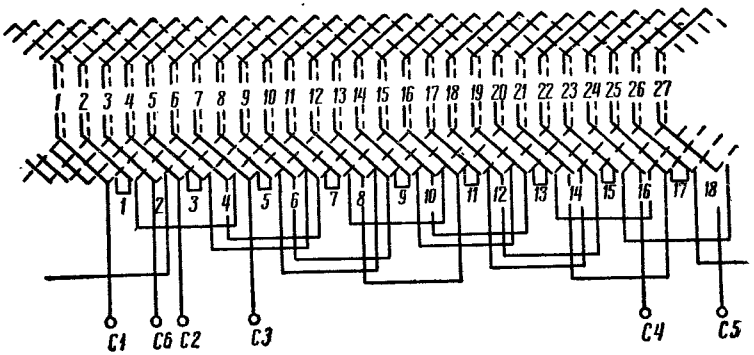


Рис. 81. Схема обмотки статора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Разберем еще один пример.

Обмотка имеет следующие данные: $z = 84$; $2p = 20$; $q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$.

Сначала проверим симметрию обмотки. Для z и p есть общий делитель 2. Условие симметрии ($\frac{84}{2 \cdot 3} = 14$) выполняется.

Составим таблицу обмотки с данными, приведенными в примере, разобранном выше (табл. 3). Для этого построим таблицу с числом клеток 7 в каждом столбце и начнем вписывать номера пазов с шагом 5, т. е. пропуская по 4 клетки. Таблицу не придется строить для всех 20 полюсов, так как после 5 (по числу d) строк порядок чередования номеров будет повторяться.

По табл. 3 определим порядок чередования катушечных групп:

АА С ВВ А С ВВ А СС В А СС В АА С В АА С ВВ и т. д.

Катушечные группы расположены в таком порядке:

(2—1—2—1—1) — (2—1—2—1—1) — (2—1—2—1—1)...

Как видно из порядка чередования, оно через пять цифр повторяется. Значит, порядок укладки катушечных групп будет следующий:

Таблица 3

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными:

$z = 84;\ 2p = 20;\ q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$

Полюсы	Фаза A	Фаза C	Фаза B
N	1 2	3 4	5
S	6 7	8 9	
N	10 11	12 13	
S	14 15	16 17	
N	18 19	20 21	
S	22 23	24 25	26

двойная — одиночная — двойная — одиночная — одиночная и т. д.

Сумма цифр в одном чередовании показывает число катушек; оно равно 7. Всего катушек должно быть 84, поэтому по всей обмотке будет $\frac{84}{7} = 12$ чередований. В каждом чередовании две двойные катушечные группы (из двух катушек) и три одиночные катушки. Всего на статор потребуется 24 катушечные группы из двух катушек и 36 одиночных катушек.

При помощи таких таблиц можно определить чередование катушечных групп для любой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

В табл. 4 показано чередование катушечных групп для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу.

Если целое число перед дробью больше 1, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей. Так, например, при $q = 1\frac{1}{2}$ в таблице чередуются катушечные группы из 1 и 2 катушек (1—2), а при $q = 2\frac{1}{2}$

Таблица 4

Порядок чередования катушечных групп при дробных числах пазов на полюс и фазу

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования катушечных групп
$1^1/_2$	(1—2), (1—2), (1—2) и т. д.
$1^1/_4$	(1—1—1—2), (1 -1—1—2) и т. д.
$1^3/_4$	(1—2—2—2), (1—2—2—2) и т. д.
$1^1/_5$	(1 -1—1—1 -2), (1—1 -1—1 -2) и т. д.
$1^2/_5$	(2 1 - 2—1—1), (2 -1—2—1—1) и т. д.
$1^3/_5$	(1 2—1—2—2), (1—2—1—2—2) и т. д.
$2^1/_2$	(2—3), (2 -3) и т. д.
$3^1/_4$	(3—3 3 - 4), (3 -3 -3—4) и т. д.
$4^1/_5$	(4—4 -4—4—5), (4—4—4—4—5) и т. д.

при такой же последовательности чередуются катушечные группы из 2 и 3 катушек (2—3).

Цифры в данной таблице чередуются не в беспорядке, а определенными периодами. Число цифр в периоде равно знаменателю неправильной дроби d, а сумма цифр в периоде равна числителю неправильной дроби c. Например, при $q = 1\frac{3}{5} = \frac{8}{5}$ период состоит из пяти цифр (1—2—1—2—2). Сумма этих цифр равна 8, т. е. числителю дроби. В табл. 4 периоды поставлены в скобки.

§ 49. УПРОЩЕННЫЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ И ТАБЛИЦЫ ОБМОТОК

После укладки катушек в пазы статора приступают к соединениям выводных концов катушек. У статора с жесткой обмоткой из катушек выходят два вывода, так как у каждой катушки имеется начало и конец. Поэтому сначала надо соединить катушки в катушечные группы. Катушки соединяют в катушечные группы последовательно.

Самая ответственная операция — соединение катушечных групп в фазах. Эта операция требует от обмотчика теоретических знаний, умения разбираться в схемах и практических навыков. В условиях серийного производства, когда изо дня в день

идут одни и те же машины, порядок соединения запоминается и почти механически выполняется. Но часто в цех попадают новые машины индивидуального исполнения, иногда без подробных чертежей и схем. В таких случаях обмотчик должен использовать свой опыт и знания.

Для выполнения соединений обмотчик пользуется схемами. При отсутствии схемы на данную машину он должен ее составить, прежде чем приступить к соединениям катушечных групп. До сих пор при изучении обмоток мы рассматривали развернутые схемы. Но для практического пользования они не удобны. Во-первых, развернутую схему трудно начертить для машины с большим числом пазов. Во-вторых, если начертить на развернутой схеме все катушки и их соединения, то в ней легко запутаться. Поэтому для практических целей пользуются упрощенными схемами.

Если составлять развернутые схемы на все типы машин, то их получится огромное количество. Действительно, развернутые схемы будут разными при разных z, y_z и q. При соединении катушечных групп в фазах обмотчик имеет дело только с началами и концами этих групп. Для выполнения соединений совершенно необязательно знать, каким шагом были намотаны катушки и сколько катушек заключено в катушечной группе.

Основным элементом при выполнении соединений является катушечная группа, а точнее ее начало и конец. На основании этого можно прежде всего упростить изображение катушечной группы, заменив ее двумя квадратиками (рис. 82, *а*), из которых один обозначает начало, а другой — конец катушечной группы. Соединительная линия между ними и будет условно изображать электрическую цепь катушечной группы с обозначением стрелкой направления тока. На рис. 82, *б* показано последовательное, а на рис. 82, *в* — параллельное соединение катушечных групп. При этом соблюдено правило параллельного соединения, которое было показано на рис. 79.

Приняв такие условные обозначения, можно перейти к схеме обмотки статора машины трехфазного тока. При укладке катушечных групп они размещаются в пазах подряд. При соединении же их надо отделить катушечные группы *I, II* и *III* фаз. Если мы посмотрим на любую развернутую схему обмотки до выполнения соединений, то увидим, что выводы из катушечных групп правильно чередуются: начало, конец, начало, конец и т. д. Если какую-нибудь произвольно выбранную катушку мы отнесем к *I* фазе, то следующая катушечная группа этой фазы будет иметь номер *4*, следующая за ней — номер *7* и т. д. Это объясняется тем, что промежуточные номера принадлежат другим фазам. Таким образом, одну фазу можно изобразить двумя столбиками из квадратиков с номерами *1*; *4*; *7*; *10* и т. д.

Теперь надо найти номер первой катушки *II* фазы. Он должен быть сдвинут на 120 электрических градусов от начала *I* фазы. Это соответствует расстоянию, занятому двумя катушечными группами, поэтому разность номеров катушечных групп между началами фаз будет всегда 2. В любой схеме катушечная группа *2* представляет собой конец *III* фазы.

Чтобы изобразить трехфазную обмотку, расположим три столбика квадратиков, обозначающих начала фаз, рядом, хотя

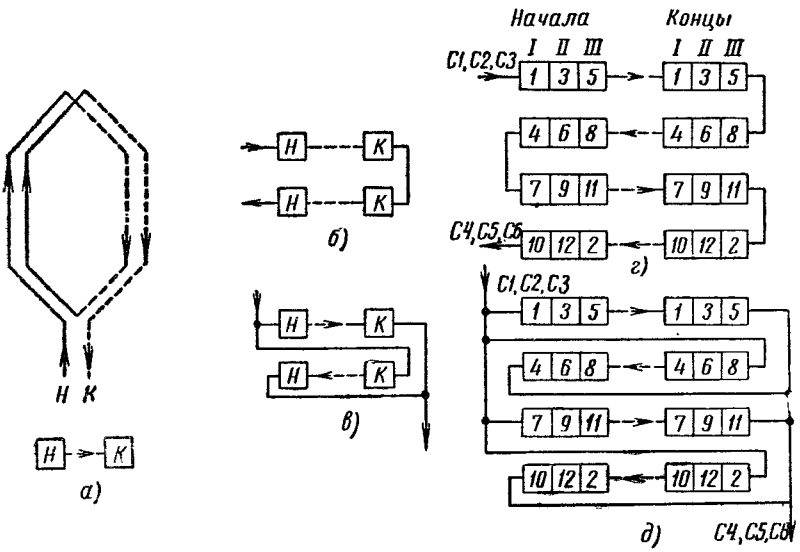


Рис. 82. Упрощенные схемы соединений обмотки статора:

а — схема катушечной группы, *б* — последовательное соединение двух катушечных групп, *в* — параллельное соединение двух катушечных групп, *г* — схема обмотки с последовательным соединением катушечных групп, *д* — схема обмотки с параллельным соединением катушечных групп

они между собой и не соединяются электрически. Аналогично расположим столбики концов фаз. Такая схема будет универсальной для всякой трехфазной обмотки независимо от шага обмотки и числа пазов на полюс и фазу. Число полюсов определяется числом квадратиков в вертикальном столбике.

Теперь осталось обозначить способы соединения катушечных групп в фазах. На рис. 82, *г* показано последовательное соединение групп, на рис. 82, *д* — параллельное соединение в четырехполюсной обмотке. На основании таких схем можно просто выполнить соединения катушечных групп. Обмотчик отгибает выводы *I* фазы, идущие от катушечных групп *1*; *4*; *7*; *10*. Начало первой катушечной группы пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *С1*.

Затем согласно правилу соединений в двухслойных обмотках будут соединены: конец первой катушечной группы с концом четвертой; начало четвертой группы с началом седьмой; конец седьмой группы с концом десятой. Если машина четырехполюсная, то начало катушечной группы *10* пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *С4* (конец *I* фазы). Соединения во *II* и *III* фазах выполняют аналогично.

Теперь посмотрим, как произвести параллельное соединение катушечных групп в этой же обмотке (рис. 82, *д*). Для этого в *I* фазе надо присоединить к одному проводу начала катушечных групп *1* и *7* и концы катушечных групп *4* и *10*. Ко второму проводу присоединяют концы катушечных групп *1* и *7* и начала групп *4* и *10*. Как видно по направлению токов в катушечных группах, полярность катушек при параллельном соединении сохраняется той же, что была при последовательном соединении.

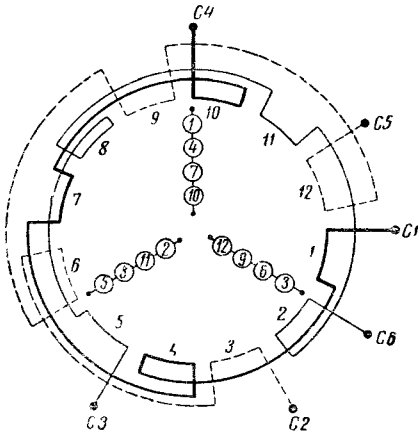


Рис. 83. Упрощенная схема соединений торцового типа

По аналогии можно составить схемы для других обмоток. Соединение фаз в звезду или треугольник было описано в § 35.

Схемы, показанные на рис. 82, хотя и простые, но лишены наглядности. Действительно, схема в виде рядов квадратиков не имеет никакого сходства со статором, на котором расположены катушки обмотки. Это усложняет пользование схемами, особенно для начинающих обмотчиков.

Поэтому большое распространение получили торцовые схемы, построенные по тому же принципу. Катушечные группы изображают в виде дуг окружности (рис. 83) и нумеруют так же, как на схеме, изображенной на рис. 82. Между катушечными группами указывают их соединения, которые в таком виде очень наглядны. В центре схемы показано соединение фаз обмотки, где катушечные группы условно обозначены кружочками.

Упрощенные торцовые схемы получили большое распространение на многих заводах электропромышленности.

В заводской практике широко используют таблицы обмоток. В них отсутствуют всякие изображения обмотки, а остаются только цифры, обозначающие начала и концы катушечных групп. Чтобы уяснить себе табличный способ соединения катушечных групп, рассмотрим простейшую развернутую схему двухслойной

обмотки, изображенную на рис. 80. На этой схеме сверху проставлены номера катушечных групп. Как во всякой двухслойной обмотке число катушечных групп равно $2pm=6$. Каждая катушечная группа имеет начало и конец. Таким образом, в этой обмотке 12 выводных концов. Пронумеруем их, исходя из следующего правила:

№ 1 — начало первой катушечной группы;
№ 2 — конец » » »
№ 3 — начало второй » »
№ 4 — конец » » » и т. д.

Тогда на схеме номера выводов будут расставлены в следующем порядке: *1—8—3—10—5—12—7—2—9—4—11—6*.

Как было объяснено в § 47 и показано на схеме, на дощечку зажимов выведены номера *1*; *3*; *5*; *7*; *9*; *11*. Согласно правилу соединений в двухслойных обмотках перемычки должны соединять одноименные выводы катушечных групп — в данной схеме концы с концами. Эти перемычки, как показано на схеме, соединяют следующие номера выводов: *2—8*; *4—10*; *6—12*. Соединения обмоток приведены в табл. 5.

Таблица 5

Таблица соединений двухслойной петлевой обмотки

Число полюсов	Число параллельных ветвей	Соединения катушечных групп	Соединения с выводами на дощечке зажимов
2	1	2—8; 4—10; 6—12	1— *C1*; 5— *C2* 9— *C3*; 7— *C4* 11— *C5*; 3 — *C6*

§ 50. СХЕМЫ ОБМОТОК МНОГОСКОРОСТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

У машин трехфазного тока скорость вращения зависит от числа полюсов. При частоте 50 *пер/сек* ток в проводах обмотки меняет направление 100 раз в секунду. Если обмотка выполнена на два полюса, то при частоте 50 *пер/сек* ротор должен вращаться со скоростью 50 *об/сек* или 3000 *об/мин*. В четырехполюсной машине при одном обороте ротора в обмотке происходят изменения направления тока, соответствующие двум периодам. Поэтому скорость вращения ротора уменьшается вдвое.

Скорость вращения для машины с любым числом пар полюсов p можно определить по формуле

$$n = \frac{3000}{p} \text{ об/мин}. \qquad (15)$$

Для синхронных машин формула дает действительное число оборотов ротора, а для асинхронных электродвигателей — услов-

ное, так как вследствие скольжения ротора он вращается с несколько меньшей скоростью.

Как видно из формулы (15), изменяя число полюсов, можно изменять числа оборотов ротора. На этом принципе основана работа многоскоростных асинхронных электродвигателей, применяемых в металлорежущих станках, на элеваторах и транспортерах, в подъемных, крановых и насосных установках.

Применение многоскоростных электродвигателей позволяет упростить передачи; повысить производительность установок; устранить шумы и вибрации от работы зубчатых передач; упростить автоматическое управление процессами пуска, останова, ре-

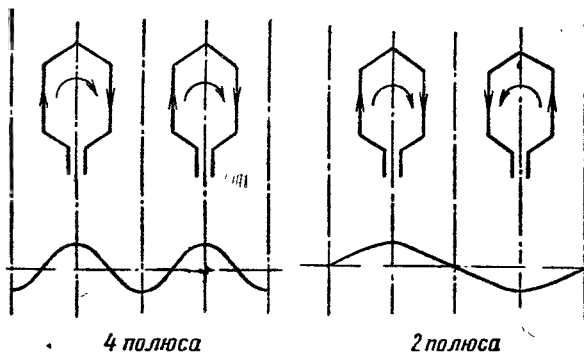


Рис. 84. Схемы переключения числа полюсов

версирования и торможения и, наконец, что очень важно, повысить коэффициент полезного действия установки благодаря снижению потерь в передачах.

Многоскоростные электродвигатели могут быть выполнены на 2; 3 или 4 скорости. Чтобы избежать сложных устройств для переключения обмотки ротора, многоскоростные двигатели выполняют с короткозамкнутым ротором, у которого число полюсов устанавливается автоматически при переключении обмотки статора. Однако при этом надо следить за тем, чтобы не образовалось неблагоприятное соотношение чисел пазов статора и ротора для данного количества полюсов.

Двухскоростные электродвигатели можно разделить по кратности отношения скоростей на электродвигатели с отношением скоростей кратным и некратным двум. Первые почти всегда выполняют с одной обмоткой, которая переключается на разные числа полюсов, вторые — с двумя отдельными обмотками. Чтобы можно было переключать числа полюсов, обмотка должна иметь шесть выводов на дощечке зажимов и дополнительные отводы от середины каждой фазы. На рис. 84 показаны схемы переключе-

ния обмотки на два и четыре полюса путем изменения направления токов в отдельных ветвях фаз обмотки.

Общие принципы обмоток с переключением числа полюсов заключаются в следующем. Если необходимо иметь две скорости вращения при отношении их 2 : 1, то числа полюсов должны находиться в отношении 1 : 2. Например, если синхронные скорости двигателей должны быть 1500 и 750 *об/мин,* то обмотка должна создавать числа полюсов 4 и 8. По отношению к меньшему числу полюсов — это петлевая обмотка с последовательным соединением катушечных групп и с шагом, близким к половине полюсного деления. Удвоение числа полюсов получается при изменении направления тока в одной из ветвей фазы. Полюсное деление при этом уменьшается вдвое, а шаг обмотки близок к полюсному делению.

В зависимости от условий работы электродвигателя предъявляют два основных требования к полюсопереключаемой обмотке. В одном случае для обеих скоростей нужен неизменный вращающий момент двигателя. В виде примера можно привести электродвигатель для привода воздушного компрессора, у которого необходимый вращающий момент не меняется при изменении скорости. Мощность такого двигателя возрастает пропорционально скорости вращения.

В другом случае мощность двигателя должна оставаться постоянной при изменении скорости вращения. Примером могут служить двигатели сверлильных станков. Эти требования выполняют путем соответствующего соединения фаз обмотки.

В качестве примера полюсопереключаемой обмотки возьмем асинхронный электродвигатель с обмоткой, переключаемой на 4 и 8 полюсов при 72 пазах статора. В этой обмотке число пазов на полюс и фазу по формуле (9):

$$q = \frac{72}{4 \cdot 3} = 6;$$

число катушечных групп

$$k = 3 \cdot 4 = 12;$$

шаг обмотки по пазам

$$y_z = 72 : 8 = 9\,(1 - 10).$$

На рис. 85 показана схема этой обмотки для постоянного вращающего момента при обеих скоростях вращения. Рассмотрим фазу *А*. Из четырех катушечных групп этой фазы группы *1* и *7*, лежащие под полюсами одной и той же полярности, соединяют последовательно. Также соединяют последовательно кату-

шечные группы *4* и *10*, лежащие под полюсами противоположных полярностей. Выполнив аналогично соединения для других фаз, получим по две ветви в каждой фазе. На рис. 86, *а* показана принципиальная схема соединений этой обмотки на четыре полюса. Она представляет собой двойную звезду. К трехфазной сети присоединяют выводы *С4, С5, С6*; выводы *С1, С2, С3* замыкают между собой.

Переключение на восемь полюсов может быть получено соединением двенадцати катушечных групп в треугольник (рис. 86, *б*). При этом меняется направление тока в катушечных группах *4* и *10*; *6* и *12*; *2* и *8*. Для соединения с трехфазной сетью надо выводы *С1, С2, С3* присоединить к сети, а выводы *С4, С5, С6* оставить разомкнутыми.

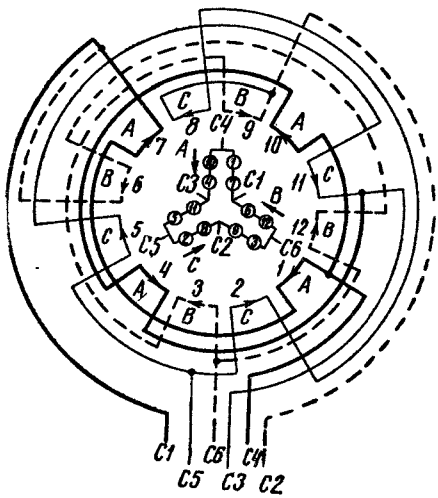


Рис. 85. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянным вращающим моментом

При необходимости получить для обеих скоростей вращения постоянную мощность надо соединить обмотку по схеме, показанной на рис. 87. При этом соединение с сетью должно быть в треугольник для четырех полюсов и в двойную звезду для восьми полюсов. Рекомендуется учащимся самостоятельно построить принципиальные схемы для этого случая, подобно схеме, изображенной на рис. 86.

При отношении скоростей, некратном двум, обычно применяют две раздельные обмотки. В машинах малой мощности с мягкими катушками две двухслойные обмотки вкладывают в пазы одну над другой, получая таким образом четыре слоя в пазах и в лобовых частях. Для двигателей большей мощности обе обмотки укладывают таким образом, чтобы получилось два слоя как в пазах, так и в лобовых частях. Обмотки получаются как бы встроенными одна в другую.

Если в нечетных пазах на дне лежат стороны катушек для меньшего числа полюсов, а над ними стороны катушек для большего числа полюсов, то в четных они меняются местами. Для выполнения этого требования число пазов статора должно быть четным, все катушки должны иметь одинаковый шаг, выражающийся нечетным числом, и толщины катушек должны быть примерно одинаковыми. Соединения обмоток производят на противоположных сторонах статора.

Разберем пример. Отношение скоростей 3 : 2, а значит отношение чисел полюсов 2 : 3. Числа полюсов в данном примере 8 и 12, число пазов статора 144. Полюсное деление восьмиполюсной обмотки равно 144 : 8 = 18 пазовым делениям, а для двенадцатиполюсной обмотки 144 : 12 = 12 пазовым делениям. Шаг обмотки выбирают меньше полюсного деления обмотки с меньшим числом полюсов и больше полюсного деления обмотки с большим числом полюсов. В данном случае можно взять шаг, равный 13 пазовым делениям (1—14). При этом шаг состав-

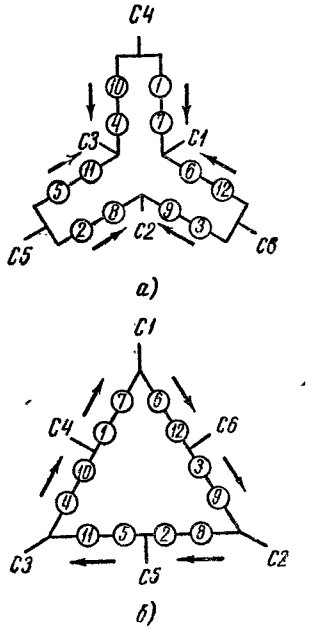


Рис. 86. Принципиальная схема обмотки двухскоростного двигателя:
а — включение на четыре полюса, *б* — включение на восемь полюсов

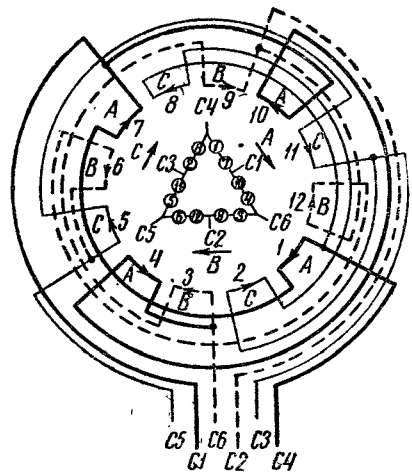


Рис. 87. Схема обмотки двухскоростного двигателя с постоянной мощностью

ляет 13 : 18 × 100 = 72% полюсного деления восьмиполюсной обмотки и 13 : 12 × 100 = 108% полюсного деления двенадцатиполюсной обмотки.

Рассмотрим еще один пример. Отношение скоростей 7 : 5, т. е. отношение чисел полюсов 5 : 7. Числа полюсов в данном примере 10 и 14, число пазов статора 168. Полюсное деление десятиполюсной обмотки равно 168 : 10 = 16,8 пазового деления, а четырнадцатиполюсной обмотки 168 : 14 = 12 пазовых делений. Шаг обмотки может быть выбран равным 13 пазовым делениям (1—14). При этом шаг обмотки составляет 13 : 16,8 × 100 = 77,4% полюсного деления для десятиполюсной обмотки и 13 : 12 × 100 =

$=108{,}2\%$ полюсного деления для четырнадцатиполюсной обмотки.

Для получения постоянного вращающего момента надо обмотку с бо́льшим числом полюсов соединить в звезду, а обмотку с меньшим числом полюсов — в треугольник. Чтобы получить постоянную мощность, следует обе обмотки соединить в звезду.

Необходимо отметить, что при включении одной из обмоток, во избежание появления токов, надо разомкнуть все контуры в другой обмотке. Такими контурами могут быть треугольник или параллельные ветви двойной звезды.

Если требуется три скорости, из которых две имеют отношение 2 : 1, то могут быть использованы две встроенные одна в другую обмотки, рассмотренные выше. Наиболее часто встречающиеся отношения чисел полюсов 4/6/8; 6/8/12; 8/12/16 и 12/16/24. Здесь также надо размыкать все контуры одной обмотки при включении другой.

Если требуются четыре скорости, две из которых имеют отношение 2 : 1, то используют две различные обмотки. Возможны два способа получения четырех скоростей:

1) обмотки размещаются в пазах в четыре слоя, причем верхние два слоя принадлежат одной обмотке, а два нижние — другой;

2) используют две встроенные обмотки, наматывая каждую через один паз.

Типичным примером четырехскоростного двигателя может служить двигатель с отношением чисел полюсов 6/8/12/16.

§ 51. ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ ОДНОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однослойные обмотки однофазных двигателей (см. § 42) могут быть выполнены только с диаметральным шагом. Для улучшения характеристик двигателей часто применяют двухслойные обмотки однофазных двигателей. Укорочение шага делают не на $^1/_5$ или $^1/_6$ полюсного деления, как в трехфазных обмотках, а на $^1/_3$.

На рис. 88 изображена двухслойная схема обмотки статора однофазного конденсаторного двигателя с числом пазов $z=12$ и числом полюсов $2p=2$. Шаг обмотки взят не 1—7, как было бы в обмотке с диаметральным шагом, а 1—5, т. е. с укорочением на $^1/_3$ полюсного деления.

Рабочая и пусковая обмотки занимают по 6 пазов. Верхние стороны катушек рабочей обмотки лежат в пазах *1; 2; 3; 7; 8; 9;* верхние стороны катушек пусковой обмотки — в пазах *4; 5; 6; 10; 11; 12.* Угол между обмотками 90°, как в однослойных двухполюсных обмотках.

В качестве упражнения рекомендуется самостоятельно составить схему двухслойной обмотки однофазного двигателя с рабочей обмоткой в восьми пазах и пусковой — в четырех пазах.

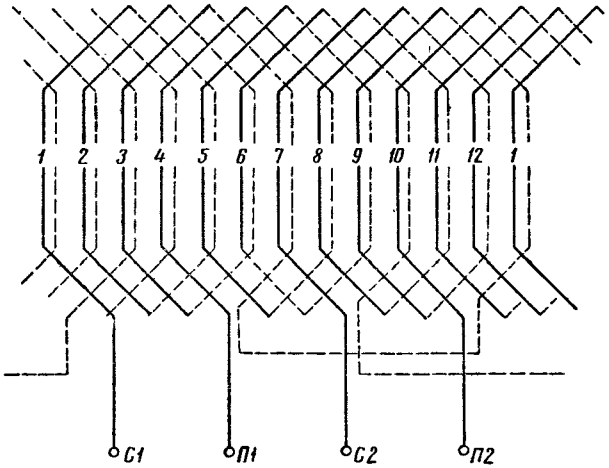


Рис. 88. Схема двухслойной обмотки статора однофазного конденсаторного двигателя

§ 52. УКЛАДКА В ПАЗЫ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК

Укладку в пазы двухслойных обмоток статора производят вручную. Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы группами, так как они были намотаны на шаблоне. Укладку выполняют следующим образом. Провода обмотки распределяют в один слой и вкладывают стороны катушек, прилегающие к дну паза, а другие стороны оставляют невложенными в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки. После этого следующие катушки вкладывают в пазы одновременно нижними и верхними сторонами.

При укладке двухслойной обмотки статора машин малых размеров затрудняют работу стороны катушек, которые остаются не вложенными в пазы в процессе укладки катушек первого полюсного деления. Рационализаторы-обмотчики предложили для таких машин порядок укладки катушек в пазы, схематически показанный на рис. 89, при котором первые катушки кладут в пазы сразу двумя сторонами и осаживают на дно пазов. После того как уложены катушки, охватывающие шаг обмотки, следующие катушки укладываются одной стороной на дно паза, а другой — в верхнюю часть паза. Последние катушки обеими сторонами занимают верхние части пазов.

Одним из средств подъема производительности труда при укладке всыпных обмоток статора асинхронных двигателей является разделение процесса на отдельные части со специализацией обмотчиц на определенных операциях. Разделение процесса обмотки на операции увеличивает производительность труда не менее чем на 30%. Во всяком статоре первые катушки укладываются значительно легче, чем следующие, у которых труднее укладывать лобовые части. Поэтому на разных рабочих

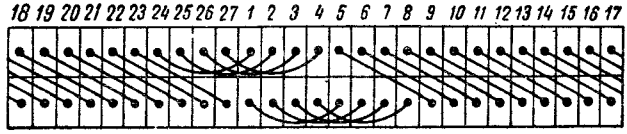


Рис. 89. Схема укладки катушек в пазы

местах укладывают разное число катушек в одно и то же рабочее время. Это является необходимым условием для организации поточного производства, определяющим ритм работы конвейера.

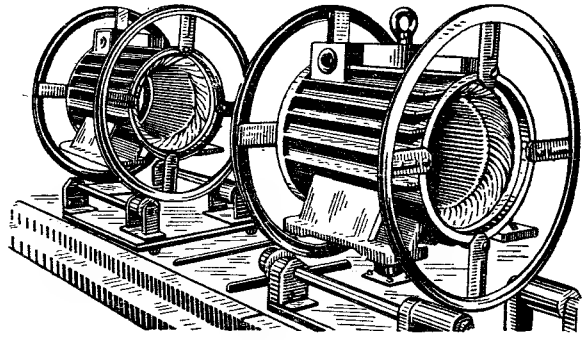


Рис. 90. Обмоточный конвейер для обмотки статоров

На рис. 90 показан обмоточный конвейер пластинчатого типа для обмотки статоров крановых электродвигателей на заводе «Динамо». Ввиду того что производственная программа может меняться, рабочие места приспособлены для обмотки двух соседних по мощности габаритов двигателей. После окончания обмотки статоры поступают на испытательную станцию и оттуда годные подвешиваются на крюки пропиточного конвейера, а неисправные возвращаются для ремонта.

В процессе обмотки статоров появляются операции, требующие затраты значительных усилий. Так, например, поворачивать статор вручную тяжело, а при поворотах краном много времени уходит на ожидание крана. На конвейере предусмотрены приспособления для поворотов статора. Круглые поворотные столы на шариковых опорах позволяют одной обмотчице укладывать лобовые части на обоих торцах статора, поворачивая его к себе то одной, то другой стороной. Для поворотов вокруг горизонтальной оси к торцам статора крепят специальные кольца, которые опираются на ролики поворотного приспособления. Таким образом, поворачивая статор, обмотчица может вкладывать в пазы все катушки в удобном для нее положении статора.

§ 53. УКЛАДКА ОБМОТОК СТАТОРА В ОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

В открытые пазы вкладывают катушки машин напряжением 3 и 6 *кв*. В отличие от всыпных обмоток эти катушки изолированы микалентой и компаундированы. Поэтому пазовые гильзы в таких машинах или отсутствуют или представляют собой однослойную коробочку из электрокартона, служащую для механической защиты изоляции катушки при укладке в пазы.

Перед укладкой катушек пазы должны быть тщательно осмотрены и очищены от заусенцев и выступающих листов, так как в высоковольтных обмотках они могут служить причиной пробоя изоляции. После зачистки пазов их продувают сжатым воздухом из шланга, покрывают лаком с помощью кисти или пульверизатора и просушивают на воздухе.

Затем устанавливают бандажные кольца, которых может быть от двух до четырех с каждой стороны статора (в зависимости от длины лобовых частей). В нажимные плиты сердечника статора ввинчивают шпильки *2*, изолированные миканитом *1* (рис. 91, *а*). Так как лобовые части обмотки образуют коническую поверхность, то бандажные кольца *3* и *4* должны быть разных диаметров. Каждое бандажное кольцо крепят к ряду шпилек при помощи приваренных к кольцам стальных ушков. Этими ушками кольца надевают на шпильки и завертывают гайками.

Бандажные кольца изолируют до постановки их на статор лентой из лакоткани и микалентой, а поверх — киперной лентой. Эти кольца защищают лобовые части катушек от деформаций под действием электродинамических усилий при протекании через обмотку больших токов и помогают ровнее уложить лобовые части обмотки.

Укладку катушек выполняют два обмотчика, стоящие с торцов статора. Катушки обычно выполняют так, что если смотреть со стороны выводов, то правые стороны катушек ложатся на дно паза (правые катушки).

При укладке первых катушек в открытые пазы нельзя оставлять левые части не вложенными в пазы, так как они могут быть повреждены и помешают укладке других катушек. Поэтому катушки первого шага обмотки кладут так, что правые стороны ложатся на дно пазов, а левые стороны находятся временно в верхнем слое других пазов, отстоящих от первых на величину шага обмотки. Чтобы сделать миканитовую изоляцию катушек более упругой, их нагревают пропусканием тока до 85—90° С.

При укладке следующей катушки правая ее сторона ложится на дно пустого паза, а левая — в паз, в котором уже лежит правая сторона другой катушки. Между катушками в пазу вкладывают прокладки из электрокартона или другого изоляционного материала.

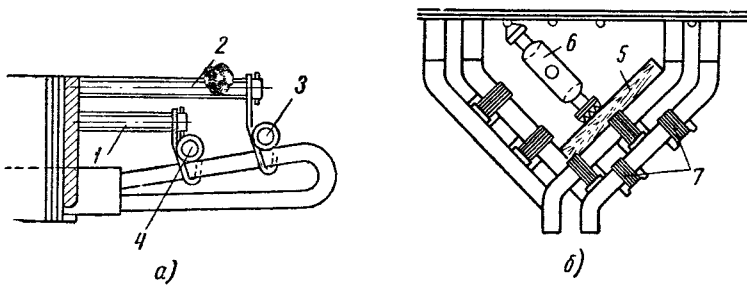


Рис. 91. Укладка обмотки в пазы:
а — крепление лобовых частей, б — рихтовка лобовых частей

Также будут вкладывать и следующие катушки, пока в процессе укладки обмотчики не дойдут до последних катушек. Тогда поднимают из пазов временно вложенные левые стороны катушек первого шага, нагревая их током. При этом в лобовых частях катушек получаются перегибы. Вкладка этих катушек особенно трудна и требует осторожности, так как обычно нарушается изоляция именно этих катушек. Затем вкладывают в пазы обеими сторонами последние катушки и снова опускают в пазы поднятые левые стороны катушек первого шага. На этом процесс укладки катушек в пазы заканчивается.

При укладке в пазы пользуются следующими приемами. Стороны катушки опускают до уровня расточки статора легкими ударами молотков через подушку, состоящую из нескольких полос картона, обвитых хлопчатобумажной лентой. Осаживают катушку на дно паза ударами по осадочной доске, толщина которой равна ширине паза, а длина — длине пазовой части катушки.

Для окончательного осаживания стороны катушки на дно паза в его «ласточкин хвост» с обеих сторон вставляют стальные

клинья. Катушки опускаются под давлением двух встречных деревянных клиньев, которые забивают в паз с двух сторон статора. При этом катушка опускается параллельно дну паза и не подвергается перегибам. Все эти операции оба обмотчика производят одновременно над обеими сторонами катушки, чтобы она не подвергалась деформации.

После заклиновки лобовые части привязывают шнуром к бандажным кольцам. Под шнур подкладывают прокладки из электрокартона. В процессе укладки катушек рихтуют лобовые части. Для этого к ним прикладывают деревянную планку *5* (рис. 91, *б*), в середину которой ставят домкрат *6*, чтобы отвести и выправить лобовую часть. Другим концом домкрат упирается в нажимной палец, прессующий зубец статора. В середине домкрата имеется отверстие для стального прута, которым поворачивают гайку. Лобовые части рихтуют, пока катушки еще не остыли. Окончив рихтовку, привязывают лобовые части к бандажным кольцам.

Лобовые части высоковольтных машин располагают не вплотную, как на якоре или как во всыпных обмотках статора, а с промежутками. Перекрещивающиеся слои лобовых частей образуют решетку для циркуляции охлаждающего воздуха. Чтобы придать обмотке жесткость и выдержать равномерные зазоры между лобовыми частями, к ним привязывают шнуром деревянные дистанционные прокладки *7*. Их располагают на лобовых частях соседних катушек в шахматном порядке, как показано на рис. 91, *б*.

После укладки всех катушек и крепления лобовых частей в пазы поверх катушек ставят прокладки, заклинивают пазы текстолитовыми клиньями и производят испытания витковой и корпусной изоляции. Производительность труда и качество укладки обмотки крупных машин в пазы статора во многом зависят от того, насколько статор может быть поставлен в удобное для обмотчиков положение. Перекантовывать вручную статор крупной машины невозможно.

На Харьковском электромеханическом заводе разработана конструкция кантователя для статоров весом 10—15 *т*. Он имеет два консольных вала *2* (рис. 92), поверхность которых покрыта резиной. На эти валы навешивают внутренней окружностью обматываемые статоры. Валы имеют привод от электродвигателя *4* через редуктор *5* и червячную пару *3*. Все механизмы помещаются в корпусе *1* на площадке *7* и защищены ограждением *6*. Кантователь установлен на сварной стойке *8*, которая укреплена на фундаментной плите *9*. Скорость вращения вала 1,5 *об/мин*. Статор перекатывается силой трения между сердечником статора и валом.

Кантователь предназначен для статоров с диаметром расточки от 810 до 1850 *мм* и длиной сердечника до 1080 *мм*. На нем

можно одновременно обматывать два статора. При некоторых операциях, как например при забивке клиньев в пазы, статор может раскачиваться на валу. Поэтому в конструкции кантователя предусмотрен механизм поджатия *10*, представляющий собой пневматический цилиндр со штоком, который может упираться в

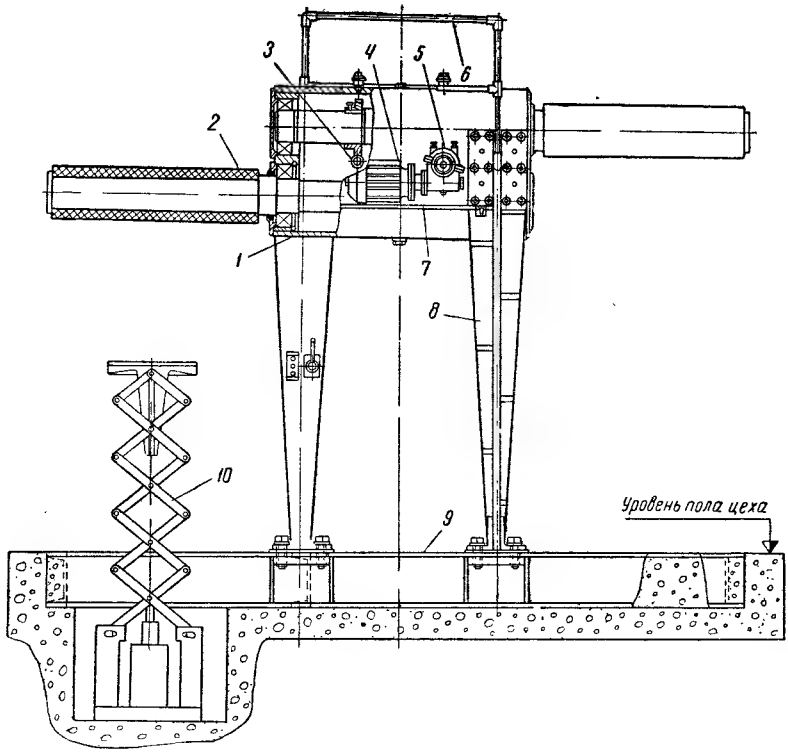


Рис. 92. Кантователь для обмотки крупных статоров

нижнюю точку станины с усилием 100 *кГ*. Однако практика применения кантователя показала, что при обмотке тяжелых статоров раскачивание незначительно и в ряде случаев можно обходиться и без этого механизма. Кантователи подобной конструкции используют и для других операций, например, для продораживания коллекторов крупных машин до насадки коллектора на вал якоря. Применение кантователей повышает производительность труда, делает работу безопасной и менее утомительной.

ГЛАВА XI

СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

§ 54. ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЕВОЙ ОБМОТКИ

В асинхронных двигателях большой мощности с фазными роторами, через обмотки которых протекает большой ток, применяют стержневые обмотки ротора. Их изготовляют из стержней, которые согнуты из голых медных шин, изолированных при помощи обертывания изоляционными материалами. Для стержневых обмоток используют шины прямоугольного сечения или со скругленной гранью.

Чаще всего стержневые обмотки выполняют как двухслойные с двумя стержнями в пазу (двухстержневые). Однако встречаются стержневые обмотки и с четырьмя стержнями в пазу. Такие обмотки можно рассматривать как двухстержневые, но с удвоенным числом пазов.

Стержневые обмотки могут быть волнового и петлевого типа. Наибольшее распространение получили обмотки волнового типа. Их преимущество заключается в том, что они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора применяют при закрытых или полузакрытых пазах ротора. Поэтому стержни вставляют в пазы с торца ротора. Обмотка состоит из стержней верхнего и нижнего слоя. При прямоугольном сечении стержней они отличаются только длиной лобовых частей, которая у стержней верхнего слоя несколько больше. При скруглении грани стержни верхнего и нижнего слоя отличаются различным расположением скругленной стороны.

Кроме стержней, в стержневой обмотке существуют еще перемычки, или соединительные дуги. В каждой фазе имеется по одной такой перемычке, а всего их на роторе три.

На рис. 93 показана схема волновой обмотки ротора, имеющего 24 паза и четыре полюса. Проследим построение схемы,

начиная с паза *1* (начало первой фазы). На схеме стержни, лежащие в верхнем слое, изображены сплошными линиями, а стержни, лежащие в нижнем слое, — штриховыми линиями. Стержни верхнего и нижнего слоев соединяют хомутиками и пропаивают. Каждый хомутик соединяет стержень верхнего слоя со стержнем нижнего слоя (см. рис. 58). Для построения схемы надо знать шаг обмотки, который, как и для других обмоток, равен числу пазов, разделенному на число полюсов.

Как было сказано в § 45, статорные обмотки почти всегда выполняют с укороченным шагом. В обмотках петлевого типа укорочение шага, кроме улучшения электрических характеристик машины, дает еще некоторую экономию меди. В обмотках

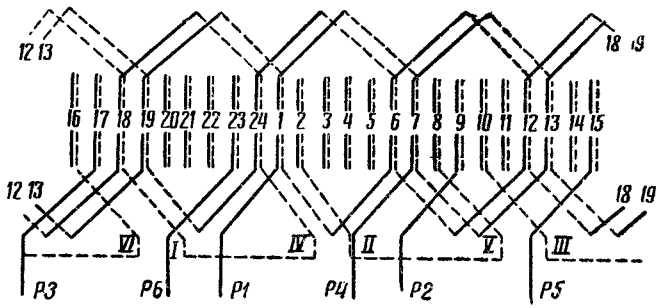


Рис. 93. Схема волновой обмотки ротора

волнового типа укорочение шага не применяют, так как укорочение шага с одной стороны ротора влечет за собой удлинение шага с противоположной его стороны. Поэтому стержневые обмотки ротора выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора.

Для данного ротора шаг обмотки по пазам $y_z = 24 : 4 = 6$. Следовательно, верхний стержень 1-го паза надо соединить с нижним стержнем 7-го паза. Чтобы узнать следующее соединение, надо к номеру 7-го паза прибавить шаг обмотки 6. На схеме видно, что нижний стержень 7-го паза соединен с верхним стержнем 13-го паза. Следующее соединение будет между верхним стержнем 13-го паза и нижним стержнем 19-го паза. Если к номеру 19-го паза прибавить шаг обмотки, то получим номер 1-го паза, т. е. нижний стержень 19-го паза надо будет соединить с верхним стержнем 1-го паза, и таким образом обмотка замкнется.

Чтобы избежать этого, при подходе к пазу, с которого обмотка началась, укорачивают или удлиняют шаг обмотки на один паз. Такие обмотки называют обмотками с укороченными

или удлиненными переходами. На рис. 93 показана схема обмотки с укороченными переходами, поэтому нижний стержень 19-го паза соединен с верхним стержнем 24-го паза (шаг 1—6). Второй обход ротора идет рядом с первым. Верхний стержень 24-го паза соединен с нижним стержнем 6-го паза, который соединяется с верхним стержнем 12-го паза, а он — с нижним стержнем 18-го паза.

У этой обмотки число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Поэтому надо было сделать два обхода ротора. На схеме видно, что на роторе образовались четыре полюсных деления в соответствии с числом полюсов. Но произведенные соединения образовали волны, которые являются как бы полукатушками. Для создания четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора.

Такие соединения получатся, если мы будем делать обходы ротора, но в обратном направлении. Для этого надо соединить нижний стержень 18-го паза с нижним стержнем, отстоящим от него на один шаг, т. е. со стержнем 24-го паза, что сделано на схеме в виде перемычки, обозначенной *I—IV*.

Теперь произведем два обхода ротора в противоположном направлении. Нижний стержень 24-го паза соединим с верхним стержнем 18-го паза, который будет соединен с нижним стержнем 12-го паза, а он соединится с верхним стержнем 6-го паза.

Следующее соединение согласно шагу обмотки нужно было бы сделать с нижним стержнем 24-го паза, но он уже занят, поэтому делаем укороченный шаг и соединяем верхний стержень 6-го паза с нижним стержнем 1-го паза.

Затем соединяем нижний стержень 1-го паза с верхним стержнем 19-го паза, который соединяется с нижним стержнем 13-го паза, а он — с верхним стержнем 7-го паза. Другой конец верхнего стержня 7-го паза идет на вывод (конец первой фазы).

Обычно обмотки роторов асинхронных двигателей соединяют в звезду, и к контактным кольцам подводят три вывода, которые в соответствии в ГОСТ 183—55 должны обозначаться: от первой фазы *P1*, от второй фазы *P2* и от третьей фазы *P3*. На схемах обмоток, которые приводятся в этой главе, начала фаз обозначены *P1, P2, P3*, а концы фаз по аналогии с обозначениями в схемах обмоток статора с шестью выводами — *P4, P5, P6*.

Соответственно стержни, соединяемые перемычками, обозначены римскими цифрами. Так, например, в первой фазе даны следующие обозначения: *P1* — начало фазы, *P4* — конец фазы, *I—IV* — перемычка. Во второй фазе: *P2* — начало фазы, *P5* — конец фазы, *II—V* — перемычка. В третьей фазе: *P3* — начало фазы, *P6* — конец фазы и *III—VI* — перемычка.

После двух обратных обходов мы получили четыре катушечные группы, состоящие каждая из двух катушек. Четыре катушечные группы соответствуют числу полюсов, а две катушки в каждой группе соответствуют числу пазов на полюс и фазу. Таким образом, стержневая обмотка ротора волнового типа включает три элемента: стержни верхнего слоя, стержни нижнего слоя и перемычки.

§ 55. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК И ВЫВОДОВ ФАЗ

Ротор является вращающейся частью машины. Для вращения ротора без биений нужно, чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения. Это возможно только в том случае, если все элементы обмотки расположены равномерно по окружности, что в первую очередь зависит от расположения начал фаз. Поэтому в обмотках роторов асинхронных двигателей начала фаз располагают на расстоянии не 120 электрических градусов, как в статорных обмотках, а равномерно по окружности, т. е. на расстоянии 120 геометрических градусов. Но при этом должно быть выполнено условие электрической симметрии.

Для соблюдения электрической симметрии начала фаз должны быть сдвинуты одно относительно другого на расстояние 120 или 240 электрических градусов плюс любое целое число раз по 360 электрических градусов. Такими углами, кроме 120 и 240 электрических градусов, являются 480, так как 480—360=120; 600, так как 600—360=240; 2400, так как 2400—6·360=2400—2160=240 и многие другие.

Если начала фаз расположены равномерно по окружности, то равномерно будут расположены концы фаз и перемычки. Проследим это по схеме, показанной на рис. 93. Здесь начала фаз выходят из 1, 9 и 17-го пазов. В окружности при $p=2$ будет $360\cdot 2=720$ электрических градусов. Угол между пазами $\frac{720}{24}=$ $=30$ электрическим градусам. Шаг между началами составляет восемь пазовых делений. Следовательно, начала фаз расположены равномерно по окружности.

Электрическая симметрия также выдержана, так как $30\cdot 8=$ $=240$ электрических градусов. Концы фаз выходят из 7, 15 и 23-го пазов, разность между которыми также восемь пазовых делений. Как видно на схеме, равномерно расположены и перемычки, так как между соседними перемычками пропущено по одному пазу. Таким образом, в этой схеме выполнены требования и электрической симметрии, и равномерного расположения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек.

Следует учесть, что не во всех обмотках можно одновременно выполнить требования геометрической и электрической сим-

метрии. *Если число пар полюсов кратно трем, то начала фаз и перемычки нельзя расположить равномерно по окружности.* Это видно из следующего примера.

Составим обмотку статора с данными: $z=72$; $2p=6$.

В этой обмотке окружность содержит $360 \cdot 3=1080$ электрических градусов, а угол между пазами — 15 электрических градусов. Если бы расположили три выводных конца равномерно по окружности (через 24 пазовых деления) в 1, 25 и 49-м пазах, то между этими выводами было бы $24 \cdot 15=360$ электрических градусов, т. е. все выводы принадлежали бы одной фазе. А нам надо вывести начала трех разных фаз. Поэтому приходится отказаться от распределения выводов равномерно по окружности ротора и подбирать другие пазы, чтобы сохранились условия электрической симметрии обмотки.

На рис. 94 показана схема этой обмотки, из которой видно, что начало первой фазы взято, как обычно, из 1-го паза. Начало второй фазы сдвинуто вправо на 16 пазовых делений и выходит из 17-го паза. Расстояние между началами первой и второй фаз составляет $16 \cdot 15=240$ электрических градусов, что удовлетворяет условиям электрической симметрии. Начало третьей фазы также сдвинуто на 16 пазовых делений, но в другую сторону от 1-го паза. Оно выходит из 57-го паза. Если к 57 прибавить 16, получим 73. Из этого числа надо вычесть 72 и получим 1. Так мы убедились, что между началами первой и третьей фаз также 240 электрических градусов.

Проверим угол между началами второй и третьей фаз. Для этого возьмем разность между номерами пазов, из которых начала этих фаз выходят: $57-17=40$ пазовых делений, что соответствует углу $40 \cdot 15=600$ электрических градусов. Вычтем полную окружность и получим $600-360=240$ электрических градусов. Таким образом, требования электрической симметрии выдержаны для всех трех фаз. Но начала фаз не будут распределены равномерно по окружности. Это отразится и на распределении концов фаз и перемычек. Неравномерность распределения выводов и перемычек для этой обмотки особенно наглядно показана на торцовой схеме этой же обмотки (см. рис. 101).

Из рассмотрения этого примера видно, что при числе пар полюсов, кратном 3 ($2p=6$; 12; 18; 24; 30; 36; 42; 48; 54; 60), можно выдержать электрическую симметрию обмотки, подбирая расстояния между началами фаз, равное 120 или 240 электрическим градусам плюс любое целое число полных электрических окружностей. Но у этих обмоток нельзя добиться равномерного распределения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Поэтому при балансировке ротора потребуются большие балансировочные грузы, чтобы уравновесить смещение центра тяжести ротора.

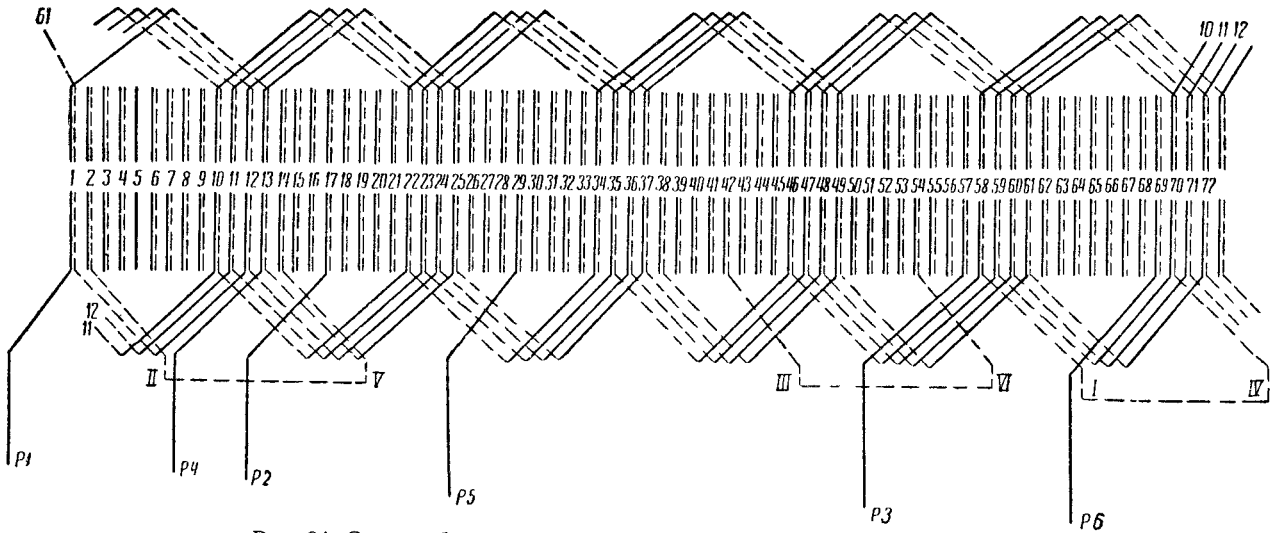


Рис. 94. Схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем

§ 56. ОБМОТКИ С УДЛИНЕННЫМИ И УКОРОЧЕННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Как было сказано ранее, волновые обмотки роторов выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора, который делают удлиненным или укороченным. Чаще встречаются обмотки с укороченными пере-

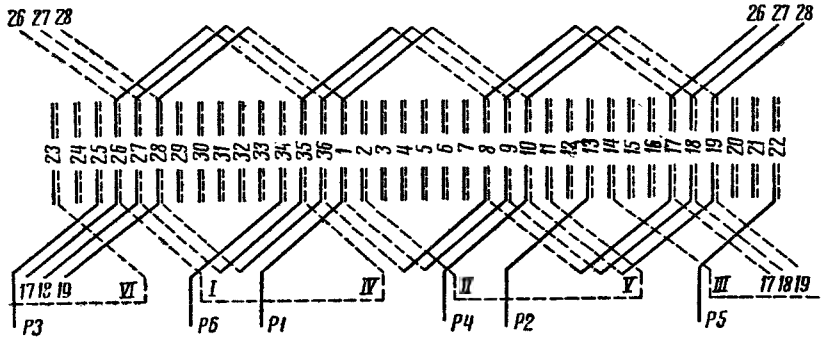


Рис. 95. Схема обмотки ротора с укороченными переходами

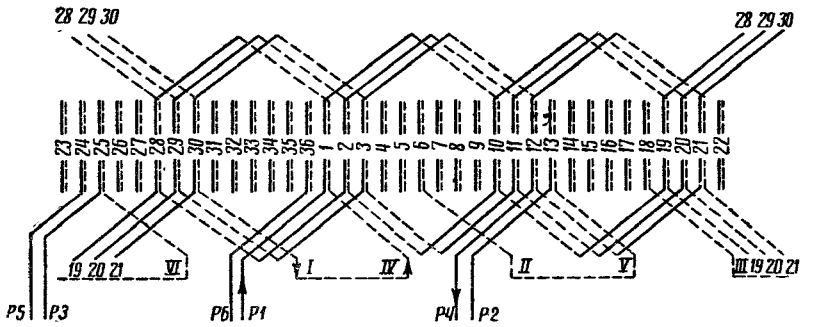


Рис. 96. Схема обмотки ротора с удлиненными и укороченными переходами

ходами, которые позволяют получить экономию меди и изоляционных материалов. Однако некоторые заводы применяют обмотки с удлиненными переходами, чтобы упростить ремонт. При ремонте в процессе выравнивания концов стержней часть длины стержня срезают. В обмотках с удлиненными переходами стержни имеют некоторый запас длины, который используют при переходе на обмотку с укороченными переходами.

На рис. 95 показана схема волновой обмотки ротора со следующими данными: $z=36$; $2p=4$; $q=3$. На схеме показаны сое-

динения только в первой фазе. Каждая катушечная группа состоит из трех катушек, так как число пазов на полюс и фазу равно трем. Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, т. е. четырем.

На схеме показаны начала и концы других фаз, а также перемычки этих фаз. Ввиду того что число пар полюсов некратно трем, выводы и перемычки распределены равномерно по окружности. Для упрощения чтения схемы в местах разрывов лобовых частей обмотки поставлены числа, обозначающие номера пазов, в которые лобовые части должны попасть после перехода с одного конца схемы на другой. Это ускоряет разбор схемы и уменьшает вероятность ошибок.

Эта схема выполнена с укороченными переходами, так как в конце каждого обхода диаметральный шаг обмотки 1—10 заменяется укороченным шагом 1—9. В обмотках с укороченными переходами каждый следующий обход смещается по сравнению с предыдущим влево. Поэтому по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе видно, что эта обмотка с укороченными переходами. Начав обмотку с 1-го паза, мы перемещаемся в 36-й, а затем в 35-й паз.

На рис. 96 показан другой вариант схемы для той же машины. Число пазов и число полюсов сохранились прежними, а следовательно, и число пазов на полюс и фазу. Поэтому по внешнему виду эти схемы очень похожи одна на другую. Но при внимательном рассмотрении мы увидим разницу между ними.

Прежде всего эта обмотка с удлиненными переходами, что видно по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе. Обходя ротор, мы будем от 1-го паза смещаться во 2 и 3-й пазы. Но это не простая обмотка с удлиненными переходами. Сделав первые три обхода ротора, увидим, что после перемычки переходы становятся укороченными. Такой выбор переходов не нарушает условий симметрии обмотки. Достоинство же такой обмотки заключается в том, что в ней отсутствуют пересечения перемычек с выводами фаз. Это более удобно для выполнения обмотки.

Формулу (8) для определения шага по пазам можно выразить иначе, если в числитель вместо z подставить его значение $2pmq$. Тогда формула примет такой вид:

$$y = \frac{2pmq}{2p} = mq. \qquad (16)$$

В трехфазных обмотках число фаз равно трем, поэтому можно написать, что $y=3q$. Таким образом, если известно число пазов на полюс и фазу, то шаг обмотки (диаметральный) можно определить, умножив q на 3. Тогда укороченный шаг обмотки ротора будет $y_{укор}=3q-1$, а удлиненный шаг $y_{удл}=3q+1$.

Обычно в схемах волнового типа обход катушечных групп начинается от начала фазы по часовой стрелке, а после перемычки направление обходов изменяется на обратное, т. е. против часовой стрелки. Примерами могут служить схемы, показанные на рис. 93; 94; 95 и 96.

§ 57. КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЫЧЕК

Перемычки в роторных обмотках волнового типа выполняют различно. В машинах средней мощности перемычки или выгибают из одного куска шины вместе с двумя нижними стержнями или приваривают к этим стержням до укладки обмотки в пазы. В этом случае обмотка состоит из z верхних стержней, $(z—6)$ нижних стержней и трех перемычек со стержнями. Стержни с такими перемычками вкладывают в пазы первыми, а перемычки помещают в выточке нажимной шайбы.

В машинах большой мощности перемычки припаивают к стержням при помощи соединительных хомутиков после укладки стержней в пазы. В этом случае для обмотки ротора заготовляют z верхних стержней и z нижних стержней, из которых к шести припаивают перемычки.

В обоих случаях наличие перемычек усложняет выполнение обмотки. Поэтому на некоторых электромашиностроительных заводах применяют обмотки роторов, в которых перемычки отсутствуют. В таких обмотках поворот в каждой фазе осуществляют при помощи стержня, переходящего в пазу из одного слоя в другой. На рис. 97, *а* показан в разрезе паз, в котором лежит переходный стержень *1*. Образовавшиеся пустые места заполнены отрезками обмоточного провода *2,* которые вкладывают для устранения перемещений стержня в пазу при вращении ротора.

На рис. 97, *б* изображена схема обмотки двигателя с переходными стержнями, в которой перемычки отсутствуют, что упрощает изготовление обмотки. Второе достоинство этой схемы заключается в том, что начала фаз, которые подводят к контактным кольцам, выходят из нижнего слоя обмотки, а не из верхнего, как во всех предыдущих схемах. Поэтому соединительные пластины не пропускают между стержнями нижнего слоя и все хомутики располагают симметрично по окружности.

Проследим соединения стержней в первой фазе. Начало фазы лежит в 1-м пазу, но не в верхнем слое, как во всех других схемах, а в нижнем. Как видно по расположению начала фазы относительно первой катушечной группы, эту обмотку выполняют с укороченными переходами и последний шаг в каждом обходе 1—9, а не 1—10. Сделав первые три обхода, приходим к стержню *2б,* который является переходным в первой фазе. Он

начинается в верхнем слое и на середине ротора переходит в нижний слой. В таких обмотках переходный стержень в каждой фазе сдвинут относительно начала фазы на $\left(\frac{2z}{3p}-1\right)$ пазов в направлении, обратном ходу обмотки.

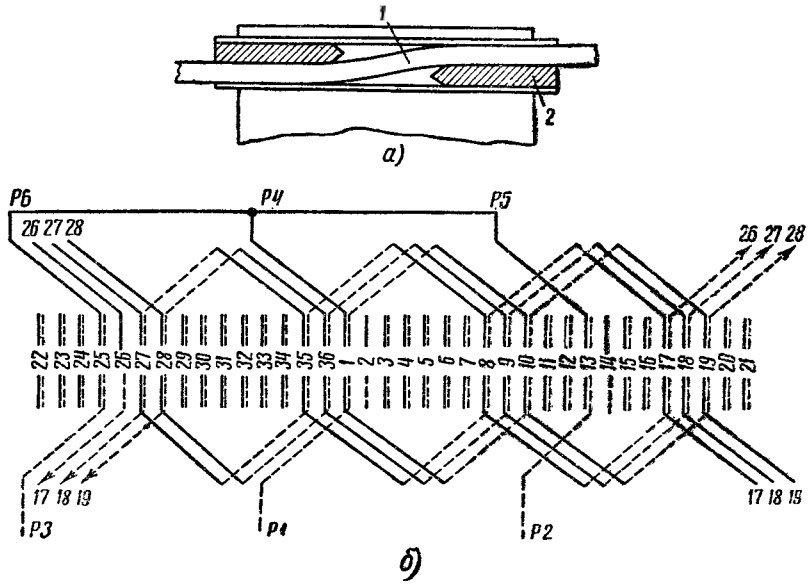


Рис. 97. Обмотка ротора с переходным стержнем:
а — переходный стержень, *б* — схема обмотки

Определим положение переходного стержня в первой фазе. Сдвиг стержня относительно начала фазы будет на $\frac{2\cdot 36}{3\cdot 2}-1=$ $=12-1=11$ пазов. Положение переходного стержня будет в $36+1-11=$ 26-м пазу, как это видно на схеме. Переходный стержень второй фазы будет в $13-11=2$-м пазу, а третьей фазы в $25-11=14$-м пазу. Соединение концов фаз звездой выполняют на противоположной стороне ротора. При наличии переходных стержней нарушение симметрии находится в допустимых пределах.

§ 58. ОБМОТКА С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу в роторных обмотках не всегда бывает целым числом. Встречаются и дробные числа пазов на полюс и фазу, которые чаще всего выражают целым числом с

половиной. Обмотки с дробным q приходится применять в тех случаях, когда при одном и том же штампе для листов ротора выпускают двигатели с разными скоростями вращения.

Например, асинхронный двигатель, имеющий синхронную скорость вращения 3000 *об/мин* и 30 пазов на роторе, требуется перемотать на меньшую скорость вращения 1500 *об/мин*. Согласно формуле (15) двигатель при $n=3000$ *об/мин* имеет два полюса.

Следовательно, число пазов на полюс и фазу у такого двигателя будет $q=\frac{30}{2\cdot 3}=5$.

Для уменьшения скорости вращения до 1500 *об/мин* нужно увеличить число полюсов вдвое. Поэтому у двигателя на 1500 *об/мин*

$$2p=4, \text{ а } q=\frac{30}{4\cdot 3}=2{,}5.$$

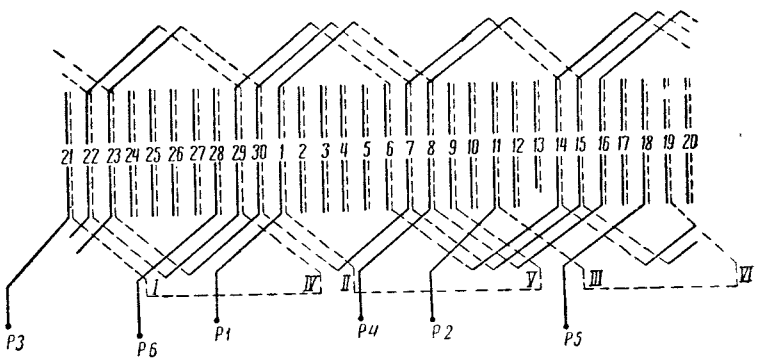


Рис. 98. Схема волновой обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Схема волновой обмотки такого двигателя показана на рис. 98. В обмотках с дробным q приходится различать шаги со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, так как они должны быть различными. Шаги выбирают по следующим формулам:

шаг со стороны, противоположной выводам,

$$y_1=3q\pm 0{,}5; \tag{17}$$

шаг со стороны выводов

$$y_2=3q\mp 0{,}5. \tag{18}$$

Расположение знаков + и — в формулах показывает, что если в одной формуле берут знак +, то в другой следует брать знак — и наоборот.

Для обмотки, изображенной на схеме (рис. 98), взяты шаги $y_1=3\cdot2{,}5-0{,}5=7$; $y_2=3\cdot2{,}5+0{,}5=8$. Кроме того, в конце каждого обхода берут укороченный переход с шагом $y_3=y_2-1=7$.

В обмотках с q, равным целому числу с половиной, приходится делать $q-0{,}5$ обходов в одном направлении и $q+0{,}5$ обходов в другом направлении. Как видно на схеме, катушечные группы здесь неодинаковые: одни состоят из двух катушек, а другие — из трех, что в среднем дает требуемое q, равное 2,5.

§ 59. РОТОРНЫЕ ОБМОТКИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЕТВЯМИ

В предыдущих схемах катушечные группы в фазах соединялись всюду последовательно. При больших токах ротора может появиться необходимость в параллельном соединении. При целом q каждая фаза обмотки разделена перемычкой на две одинаковые части. Поэтому переход от последовательного соединения к соединению в две параллельные ветви легко осуществить, соединив параллельно обе части каждой фазы.

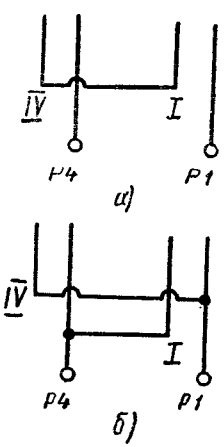


Рис. 99. Соединение двух частей обмотки: *а* — последовательное, *б* — параллельное

На рис. 99, *а* показано расположение начала первой фазы, конца фазы и перемычки этой фазы при последовательном соединении. Если разорвать перемычку и соединить вывод, идущий к перемычке и обозначенный *I*, с концом фазы *P4*, а вывод, обозначенный *IV*, — с началом фазы *P1*, то обе части фазы будут соединены в две параллельные ветви (рис. 99, *б*), причем направления токов в стержнях сохранятся прежними и поэтому число полюсов обмотки останется тем же.

Следует отметить, что при дробном q каждая фаза разделяется на две неодинаковые части. Так, например, на схеме, изображенной на рис. 98, видно, что в первой фазе по одну сторону от перемычки включено 8 стержней, а по другую — 12 стержней. Поэтому соединять их параллельно нельзя. В случае необходимости параллельного соединения в обмотках с дробным q приходится прибегать к более сложным схемам с двумя перемычками в каждой фазе.

§ 60. ОБМОТОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Всякую схему можно заменить таблицей соединений, в которой числами, выражающими номера пазов, показаны все соединения между стержнями. При помощи этих же таблиц можно определить расположение концов фаз и перемычек, задавшись расположением начал фаз.

Начала фаз при числе пар полюсов, не кратном трем, располагают равномерно по окружности ротора. При числе пар полюсов, кратном трем, начало второй фазы сдвигают на $2q$ пазов назад, а начало третьей фазы — на $2q$ пазов вперед (см. рис. 94).

В каждом пазу лежат два стержня, обозначаемые в таблицах одним и тем же номером паза, в котором они расположены. На схемах верхние и нижние стержни обозначают условными линиями; сплошной линией — верхний стержень и штриховой линией — нижний. В таблицах около номеров ставят буквы: в — для верхнего стержня и н — для нижнего. Таблицы составляют для каждой фазы отдельно. Таблица содержит число вертикальных столбиков, равное числу полюсов, и число строк, равное удвоенному числу пазов на полюс и фазу.

Ниже приводится табл. 6 соединений для обмотки, схема которой изображена на рис. 93. Сравнивая таблицу со схемой, можно легко усвоить правила составления таблиц. В этой обмотке $2p=4$ и $q=2$, поэтому таблица каждой фазы состоит из четырех столбиков и четырех строк.

Таблица 6

Таблица соединений к схеме, показанной на рис. 93

I фаза	*II фаза*	*III фаза*
Р1- 1в- 7н-13в-19н 24в- 6н-12в-18н	*Р2*-9в-15н-21в- 3н 8в-14н-20в- 2н	*Р3*-17в-23н-5в-11н 16в-22н-4в-10н
Перемычка	Перемычка	Перемычка
24н-18в-12н- 6в 1н-19в-13н- 7в-*Р4*	8н- 2в-20н-14в 9н- 3в-21н-15в-*Р5*	16н-10в-4н-22в 17н-11в-5н-23в-*Р6*

Читать такую таблицу надо горизонтальными строчками. Так, например, из таблицы видно, что, взяв начало первой фазы из 1-го паза, надо соединять стержни верхнего и нижнего слоя в таком порядке: 1в с 7н, 7н с 13в, 13в с 19н, 19н с 24в (укоро-

ченный шаг), 24в с 6н, 6н с 12в, 12в с 18н и 18н с 24н (перемычка).

После перемычки показаны шаги в обратном направлении для второй части *I* фазы.

§ 61. ТОРЦОВЫЕ СХЕМЫ ОБМОТОК РОТОРА

Схемы-развертки, приведенные выше, служат для сравнения различных типов обмоток. На них обычно показывают соединения стержней только в одной из фаз, так как если начертить полную схему, то она перестанет быть наглядной и в большом количестве проводов легко запутаться, делая обходы по соединениям в лобовых частях. Особенность волновых обмоток ротора заключается в том, что обмотчику приходится после укладки стержней в пазы выгибать их лобовые части и соединять хомутиками верхние стержни с нижними.

Это относительно легко выполнить на стороне, противоположной выводам, так как там все верхние стержни соединяют с нижними. Достаточно правильно соединить одну пару стержней, как другие будут соединяться подряд и поэтому не нужно при каждом соединении проверять шаг обмотки.

Значительно труднее выполнять соединения на стороне выводов. Здесь шесть стержней нижнего слоя соединяют перемычками и они не участвуют в соединении со стержнями верхнего слоя. В свою очередь от стержней верхнего слоя делают выводы начал и концов фаз. Разные длины переходов требуют правильного расположения удлиненных или укороченных стержней.

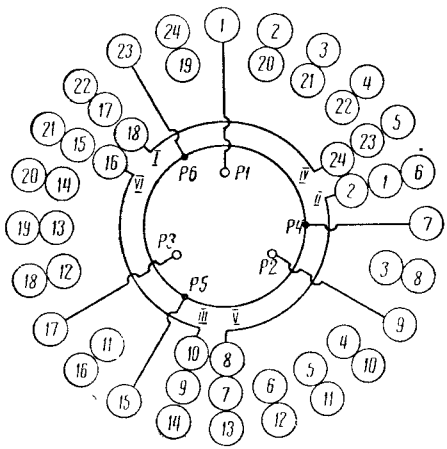


Рис. 100. Торцовая схема обмотки ротора

Схема-развертка с соединениями в одной фазе мало помогает обмотчику, так как соединения надо делать не по фазам, а подряд, по всей окружности ротора. Для практического пользования гораздо удобнее торцовые схемы.

Торцовая схема представляет собой вид на торец обмотанного ротора со стороны выводов (рис. 100). Стержни пронумерованы номерами пазов, в которых они лежат, но

стержни верхнего и нижнего слоев сдвинуты один относительно другого по шагу обмотки. На каждом радиусе расположены те стержни, которые требуется соединить хомутиком. Стержни, соединяемые перемычками, вынесены в третий слой, ближе к центру схемы. В середине схемы показано соединение концов фаз звездой и расположение выводов от начал фаз, соединяемых с контактными кольцами.

Ниже приводятся примеры построения торцовых схем. В качестве примеров взяты обмотки, развернутые схемы которых были приведены ранее. Так, торцовая схема с числом пар полю-

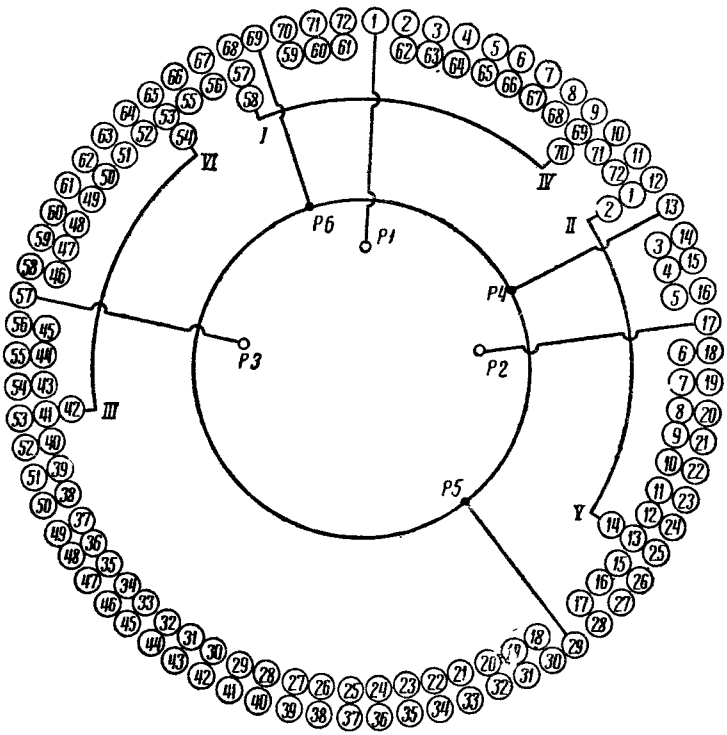


Рис. 101. Торцовая схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем

сов, не кратным трем (рис. 100), соответствует развернутой схеме, показанной на рис. 93, торцовая схема с числом пар полюсов, кратным трем (рис. 101), соответствует развернутой схеме, изображенной на рис. 94, торцовая схема с дробным числом пазов на полюс и фазу (рис. 102) соответствует развернутой схеме, приведенной на рис. 98. Сопоставление этих схем поможет лучше усвоить правила их построения.

Для построения торцовой схемы надо провести две окружности, по которым расположатся стержни верхнего и нижнего слоев. Стержни на схемах изображены кружками, так как это позволяет начертить схему, пользуясь только циркулем. Диаметр кружка следует брать от 6 до 10 *мм* в зависимости от размеров листа бумаги. Диаметр внутренней окружности можно рассчитать по формуле

$$D_2 = \frac{dz}{3{,}14}, \tag{19}$$

где d — диаметр кружка;
z — число пазов.

Диаметр наружной окружности будет:

$$D_1 = D_2 + 2d. \tag{20}$$

Диаметр окружности, на которой располагают стержни, соединяемые перемычками,

$$D_3 = D_2 - 2d. \tag{21}$$

Теперь надо окружность диаметром D_2 разделить циркулем на z частей и провести z тонких радиальных линий, которые пересекут все три окружности. На наружной окружности надо начертить z кружков и занумеровать их подряд в направлении часовой стрелки. Первый стержень обычно располагают в верхней части окружности и от него ведут счет.

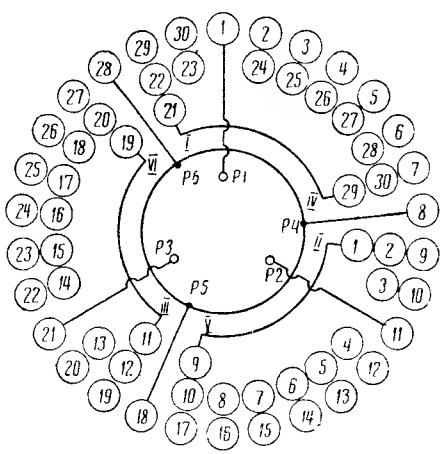


Рис. 102. Торцовая схема обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

По расчету обмотки или таблице берем номера пазов, из которых выходят начала и концы фаз. Проводим толстые радиальные линии и обозначаем их *P1, P2* и т. д. Концы фаз *P4, P5* и *P6* соединяем окружностью в общую точку звезды, а начала фаз *P1, P2* и *P3* оставляем свободными для соединения с контактными кольцами.

Самой ответственной частью построения торцовой схемы является определение сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев. Если ошибиться в определении первого стержня нижнего слоя, то вся схема будет неверной. Поэтому надо внимательно отнестись к нумерации стержней нижнего слоя.

Рассмотрим это на примере схемы, показанной на рис. 100. Из схемы (рис. 93), которая изображает ту же самую обмотку, нам известно, что эта схема с укороченными переходами. По расчету схемы найдем номера пазов 1; 9; 17; 7; 15; 23-й, из которых выходят начала и концы фаз в верхнем слое стержней. Теперь надо определить, где будет расположен стержень *1* нижнего слоя.

Обратимся к табл. 6. Стержень 1н мы найдем в последней строке первой фазы. Он помещается между стержнями 6в и 19в. Чтобы знать, с каким стержнем верхнего слоя должен быть соединен стержень *1* нижнего слоя, надо из табл. 6 взять тот стержень верхнего слоя, с которым 1н соединяется шагом со стороны выводов, так как торцовая схема — это вид на ротор со стороны выводов.

Схему соединений начинают с шага со стороны, противоположной выводам. Этот шаг будет первым в каждой строке. Таким образом, соединение 1н — 19в производят со стороны, противоположной выводам. Значит, со стороны выводов 1н соединен с 6в. Поэтому в нижнем слое стержень 1н должен находиться под 6в, что мы и видим на торцовой схеме (рис. 100).

Для определения сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев можно было и не составлять полной схемы соединений, а взять только один шаг со стороны выводов. Таким шагом в начале табл. 6 будет шаг 7н—13в. Это показывает, что под стержнем *13* верхнего слоя лежит стержень *7* нижнего слоя. Можно было бы вести счет стержней нижнего слоя от стержня *7*.

Теперь начнем нумерацию стержней нижнего слоя тоже по часовой стрелке. Но шести стержням на этой окружности не хватит места, так как они заняты выводами от начал и концов фаз. Поэтому шесть номеров надо перенести на третью окружность и соединить их перемычками. Номера этих стержней мы узнаем из табл. 6. На схеме эти номера надо расположить под номерами соседних номеров нижнего слоя. На схеме (рис. 100) видно, что стержень *2* со второй окружности перенесен на третью. Сле-

дующим номером стержня этой фазы будет *8*. Его мы соединим перемычкой со стержнем *2*. Аналогично нанесем две другие перемычки.

§ 62. ГИБКА СТЕРЖНЕЙ НА РОТОРЕ

Стержни роторной обмотки поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью (рис. 103). Поэтому после укладки в пазы производят гибку вторых концов стержней.

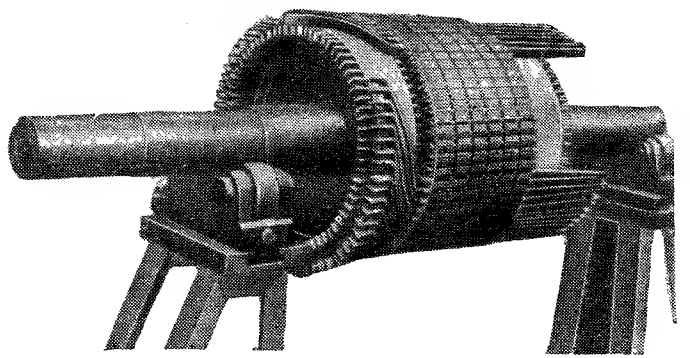


Рис. 103. Ротор в процессе обмотки

Для защиты изоляции стержней в пазы вкладывают гильзы из электрокартона толщиной 0,3 *мм*.

Затем приступают к укладке остальных стержней нижнего слоя. Уложенные стержни осаживают на дно паза клиновидными деревянными оправками. Изогнутые по винтовой линии лобовые части стержней осаживают на изолированную поверхность обмоткодержателей молотком через фибровую или текстолитовую прокладку. Концы изогнутых лобовых частей стягивают мягкой стальной проволокой, плотно прижимая к обмоткодержателям.

Второй проволочный бандаж наматывают посередине лобовых частей. Эти бандажи временные и служат для удержания стержней в процессе дальнейшей гибки лобовых частей.

После этого приступают к гибке лобовых частей со стороны, противоположной выводам. Стержни гнут при помощи двух ключей, показанных на рис. 104. Ключ *А* берут в левую руку и зевом надевают на прямую часть стержня, выходящую из паза. Ключ *Б* берут в правую руку, надевают на лобовую часть стерж-

ня и подводят вплотную к ключу *А*. Ключом *Б* изгибают стержень под углом.

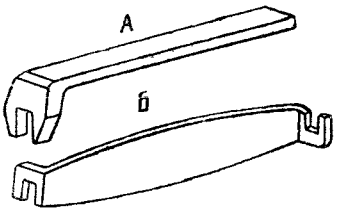


Рис. 104. Ключи для гибки стержней ротора

Но первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый схемой угол. Это объясняется тем, что рядом с ними лежат прямые части соседних стержней. Поэтому первый стержень удается изогнуть только на величину расстояния между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и т. д. Только после изгиба стержней, занимающих два-три шага обмотки, возможна гибка остальных стержней на требуемый схемой угол.

Последними дополнительно изгибают те стержни, с которых был начат процесс гибки.

Затем загибают концы стержней, на которые будут надевать соединительные хомутики. Эту операцию выполняют теми же ключами. После загибки концов снимают временные бандажи, на лобовые части накладывают изоляцию между слоями лобовых частей, указанную в чертеже, и в пазы кладут прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев.

После этого в пазы вставляют стержни верхнего слоя со стороны, противоположной выводам. Когда все верхние стержни вложены в пазы, на стороне ротора, противоположной выводам, наматывают временные бандажи, а концы стержней на этой стороне соединяют тонкой медной проволокой для первого испытания обмотки на отсутствие замыканий на корпус.

Если изоляция стержней выдержит испытание, то загибают концы верхних стержней со стороны выводов аналогично загибке стержней нижнего слоя с той лишь разницей, что изгиб стержней делают в противоположную сторону. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставят два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей прижимают к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями.

Ввиду того что в шести пазах нижнего слоя лежат стержни, соединенные перемычками, число стержней, подлежащих соединению в верхнем и нижнем слоях обмотки, неодинаково. Число стержней верхнего слоя равно числу пазов z, а число стержней нижнего слоя будет $z - 6$. Из шести стержней верхнего слоя три припаивают к кольцу, при помощи которого осуществляется соединение трехфазной обмотки звездой, а три других подводят к контактным кольцам.

В процессе изготовления обмотки производят испытание прочности изоляции между обмоткой и корпусом. Один электрод от высоковольтного трансформатора присоединяют к любому из

стержней обмотки, а другой — к зубцу ротора или к валу, и так как все стержни соединены между собой медной проволокой, то одновременно подвергают испытанию изоляцию всех стержней.

§ 63. СОЕДИНЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Стержни верхнего и нижнего слоев спаивают или сваривают. Перед паянием стержни попарно соединяют при помощи медных хомутиков, которые сгибают из медной полосы на оправке так, что конец ленты перекрывает начало по одной или двум сторонам периметра хомутика. Не следует навивать хомутик из большего числа слоев ленты, потому что такие хомутики плохо пропаиваются. Слои стержней разделены изоляцией, и концы их не могут плотно прилегать один к другому. Поэтому между ними в хомутиках забивают медные клинышки.

Для получения надежного соединения стержней необходимо, чтобы они плотно охватывались хомутиком и зазоры между хомутиком и стержнями были минимальными. Концы хомутиков соединяют заклепками или точечной сваркой. Способы соединения стержней роторной обмотки рассмотрены в главе XIV.

§ 64. КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

Асинхронные двигатели мощностью до 1000 *квт* выпускаются промышленностью преимущественно в виде электрических машин с короткозамкнутым ротором. Такие двигатели не имеют контактных колец, щеткодержателей и щеток; в пазы вставлены голые неизолированные стержни, соединенные между собой кольцами на торцах ротора и образующие так называемую «беличью клетку». Для двигателя мощностью до 160 *квт* пазы ротора заливают алюминием. Одновременно отливают замыкающие кольца и вентиляционные крылья.

Заливка роторов алюминием является прогрессивным технологическим процессом, при котором с наименьшими затратами труда и материала получается готовая «беличья клетка» вместе с вентилятором. При заливке алюминием не предъявляется высоких требований к качеству поверхности стенок пазов. Заливка может быть выполнена при любой форме паза и обеспечивает хороший контакт между стержнями и замыкающими кольцами без применения паяния и сварки. Отливка вентиляционных крылышек вместе с замыкающими кольцами обеспечивает хороший отвод тепла. При насадке ротора на рифленый вал легко получить скос пазов. Даже более низкая по сравнению с медью электрическая проводимость алюминия в короткозамкнутых роторах становится положительным фактором, повышая пусковой момент двигателя.

В двигателях нормального исполнения для заливки роторов

применяют алюминий, получаемый в виде чушек, который гарантирует необходимое постоянство электрического сопротивления.

Для повышения электрического сопротивления ротора электродвигатели малой мощности с повышенным скольжением выполняли с латунными стержнями.

Теперь для этих двигателей используют алюминиевый сплав, имеющий удельное сопротивление, равное удельному сопротивлению латуни.

Это дало возможность значительно снизить трудоемкость работы и сэкономить медь, потреблявшуюся для латунных стержней и замыкающих колец.

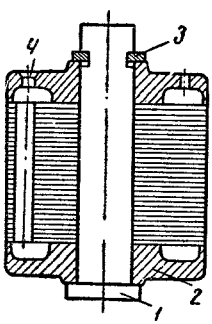


Рис. 105. Форма для заливки ротора алюминием

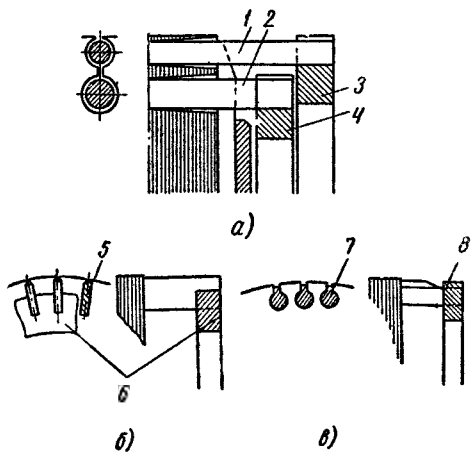


Рис. 106. Стержневые обмотки короткозамкиутых роторов:
а — двойная клетка, *б* — глубокий паз, *в* — «бутылочный» стержень

Для заливки роторы набирают на оправку *1* (рис. 105) вместе с чугунными формами *2,* образующими замыкающие кольца обмотки. Спрессованный пакет листов ротора запирают на оправке скобой *3,* согнутой из полосовой стали, и помещают в печь с температурой 500—550° С. Нагретый ротор устанавливают на плите и заливают расплавленным алюминием через литниковое отверстие *4.*

При массовом производстве заливку роторов алюминием производят в машинах для литья под давлением, которые обеспечивают высокую производительность и хорошее качество заливки, исключающее необходимость контроля каждого ротора. Заливку алюминием сначала применяли только для роторов электродвигателей малой мощности. Современная технология позволяет заливать алюминием роторы двигателей мощностью 100 *квт* и выше даже при наличии у них радиальных вентиляционных каналов. Чтобы расплавленный алюминий не затекал

в вентиляционные каналы, между пакетами вставляют трубки, имеющие форму паза ротора.

«Беличьи клетки» короткозамкнутых роторов двигателей большой мощности выполняют из стержней и колец из меди или медных сплавов, соединяя стержни с кольцами паянием или сваркой. Используют следующие короткозамкнутые роторы: с двойной клеткой, с глубоким пазом и с «бутылочным» стержнем.

Двойная клетка (рис. 106, *а*) применяется только для двигателей с большим пусковым моментом. Она состоит из пусковой клетки *1* и рабочей *2*, стержни которых замкнуты кольцами *3* и *4*. Пусковую клетку выполняют из латунных стержней, а рабочую — из медных. Работа асинхронного двигателя с двойной клеткой основана на следующем принципе: в момент пуска, когда ротор неподвижен, в нем, как во вторичной обмотке трансформатора, наводятся э. д. с. такой же частоты, как и в статоре, т. е. 50 *гц*.

Магнитное поле значительно сильнее вокруг рабочей клетки, так как она окружена стальными листами сердечника. Поэтому ее индуктивное сопротивление очень велико по сравнению с пусковой клеткой, и ток устремляется в стержни пусковой клетки. Стержни этой клетки имеют большое активное сопротивление, так как они выполнены из латуни. В результате этого уменьшается пусковой ток электродвигателя и увеличивается пусковой вращающий момент, который пропорционален сопротивлению ротора. Когда ротор развернется для номинального числа оборотов, частота тока в нем будет небольшой. При этом индуктивное сопротивление рабочей клетки резко снизится и по ней начнет протекать ток.

Для выполнения «беличьей клетки» нарезают из прутков стержни клеток *1* и *2* такой длины, чтобы они выступали над поверхностью кольца на 2—4 *мм*. Концы стержней снимают на точильном камне на конус и забивают в пазы. Замыкающие кольца *3* и *4* сгибают из медной полосы и сваривают в стык. Поверхности колец протачивают и сверлят в них отверстия для стержней. Зазоры между стержнями и отверстиями в кольцах должны быть в пределах 0,2—0,4 *мм*. Кольца надевают на концы стержней и в местах соединения пропаивают твердым припоем или сваривают. Изготовление замыкающих колец с просверленными отверстиями является трудоемким процессом. Еще труднее бывает надеть кольца на стержни. Это объясняется тем, что при забивании в пазы стержни деформируются, а концы их расплющиваются и не входят в имеющиеся в кольцах отверстия.

Технологически значительно проще выполнение роторов с глубоким пазом (рис. 106, *б*). При пуске двигателя ток протекает только по верхней части стержня *5*, а затем переходит в нижнюю часть. Здесь стержни и замыкающие кольца *6*

делают из меди, что упрощает процесс их сварки. Сварочный шов имеет большую длину, обеспечивающую надежность соединения. Однако роторы с глубоким пазом недостаточно надежны при эксплуатации двигателей с частыми пусками. Вследствие неравномерного нагрева стержней по высоте они выгибаются, что влечет за собой разрывы соединений между стержнями и замыкающими кольцами.

Для устранения недостатков роторов с глубоким пазом на заводе «Электросила» была разработана специальная форма стержня, которая получила название бутылочной (рис. 106, *в*). Это круглые стержни *7* с прямоугольными полочками. Роторы с бутылочным профилем стержня обладают почти такими же пусковыми характеристиками, как и роторы с глубоким пазом, но благодаря наличию расширенной нижней части они более стойки против деформаций при нагреве. Для соединения бутылочных стержней с замыкающими кольцами *8* должны быть сняты полочки в верхней части стержня. Эту операцию производят штампом под эксцентриковым прессом.

ГЛАВА XII

ОБМОТКИ ЯКОРЯ

§ 65. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Обмотки якоря машин постоянного тока состоят из катушек, выводы которых присоединяют к пластинам коллектора. Часть обмотки, соединенная с двумя коллекторными пластинами, называется секцией. Обычно катушка состоит из нескольких секций.

В обмотках якоря машин постоянного тока, кроме шага по пазам, различают еще *шаг по коллектору,* который обозначают $y_к$. Шаг по коллектору выражается разностью номеров коллекторных пластин, к которым подключены выводные провода одной секции. К каждой пластине присоединяют конец одной секции и начало другой. Таким образом, через коллекторные пластины провода обмотки образуют замкнутую цепь.

Число секций в катушке определяет соотношение между числом пазов якоря и числом пластин коллектора. Число пластин коллектора k во столько раз больше числа пазов якоря z, сколько секций $u_п$ содержит катушка обмотки.

$$k = u_п z. \qquad (22)$$

Например, если катушка имеет 3 секции, а якорь 45 пазов, то число пластин коллектора

$$k = 3 \cdot 45 = 135.$$

Исключение из этого правила составляют только обмотки с «мертвыми» секциями (см. § 70).

В зависимости от шага по коллектору различают обмотки якоря — простые петлевые и волновые, сложные петлевые и волновые. Обычно обмотки якоря располагаются в пазах в два слоя и являются двухслойными. Однако есть *«лягушечьи» обмотки* (см. § 74), которые располагаются в пазах в четыре слоя.

Все обмотки якоря машин постоянного тока выполняют из заранее намотанных катушек. При полузакрытой форме паза обмотки являются всыпными и изолированы от сердечника только пазовыми гильзами. При открытой форме паза катушки до укладки в пазы изолируют и пропитывают. Исключением являются обмотки якоря малых машин мощностью до 1 *квт*, которые наматывают проводом непосредственно в пазы якоря. Такие обмотки называются ручными (см. § 79) в отличие от шаблонных. Для этих обмоток применяют в массовом производстве полуавтоматические обмоточные станки. В последнее время появились совершенно новые типы якорных обмоток, в которых обмоточные провода и коллекторные пластины заменены печатными схемами.

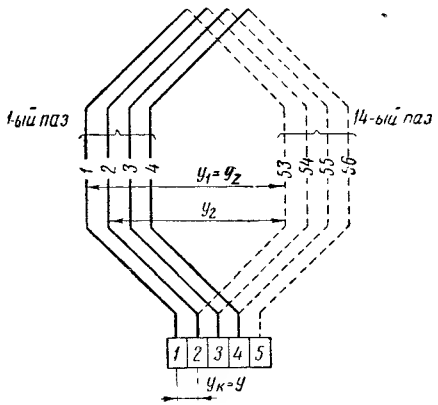


Рис. 107. Практическая схема простой петлевой обмотки

Для обмоток якоря используют как развернутые, так и торцовые схемы. Особенностью якорных обмоток является то, что все катушки соединяются с коллектором и располагаются в пазах симметрично. Поэтому нет необходимости чертить всю схему обмотки, а достаточно указать положение на якоре первой катушки. Такие схемы называются *практическими*. Пазовые части секций и их выводные концы должны быть расположены симметрично относительно оси катушки. Поэтому перед укладкой катушек в пазы якорь размечают под обмотку.

Для построения схем обмотки якоря пользуются следующими шагами обмотки (рис. 107):

y_1 — первый шаг, равный расстоянию между началом и концом секции;

y_2 — второй шаг, равный расстоянию между концом данной секции и началом следующей секции;

y — результирующий шаг, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций;

$y_к$ — шаг по коллектору, равный расстоянию между началами следующих по схеме одна за другой секций, измеренный по окружности коллектора;

y_z — шаг по пазам — расстояние между сторонами катушки.

Шаг между секциями измеряют числом секций, шаг по коллектору — числом пластин, шаг по пазам — числом пазов.

Чтобы обмотка могла быть выполнена из одинаковых секций, надо выбрать первый шаг по формуле

$$y_1 = y_z u_п. \tag{23}$$

Это условие не выполняется только в ступенчатых обмотках (см. § 73).

§ 66. ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

В петлевых обмотках секции образуют форму петель, откуда обмотки и получили свое название. Последовательное соединение секций обусловливает следующее соотношение между обмоточными шагами (рис. 107):

$$y = y_к = y_1 - y_2 = \pm 1. \tag{24}$$

Если результирующий шаг положителен, то при обходе обмотки секции будут смещаться вправо (правая петлевая обмотка), а если результирующий шаг отрицателен, то смещение секций происходит влево (левая петлевая обмотка). В левой петлевой обмотке лобовые соединения со стороны коллектора перекрещиваются, что ведет к некоторому удлинению их. Поэтому левую петлевую обмотку применяют редко.

В простой петлевой обмотке шаг по коллектору всегда равен единице. Это значит, что начало и конец секции присоединяют к двум соседним коллекторным пластинам. На схемах и рабочих чертежах это обозначают так: шаг по коллектору 1—2. Шаг обмотки по пазам y_z показывает, на каком расстоянии должны находиться стороны катушки. Шаг по пазам, как и для двухслойных обмоток переменного тока, определяют по формуле (8).

Если число пазов не делится без остатка на число полюсов, то за шаг обмотки принимают ближайшее целое число. Например: $z=26$, $2p=4$, $y_z=\frac{26}{4}=6{,}5$; шаг берут равным 6, т. е. из 1-го паза в 7-й.

В связи с тем, что каждая параллельная ветвь обмотки должна содержать секции с одинаковым направлением э. д. с., в простой петлевой обмотке получается параллельная ветвь всякий раз при обходе группы секций, находящихся между двумя соседними нейтральными зонами магнитного поля машины. А так как таких зон столько, сколько полюсов в машине, то в простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу полюсов:

$$2a = 2p. \tag{25}$$

Для использования всех параллельных ветвей обмотки на коллекторе должно быть установлено число щеток, равное числу полюсов.

Простые петлевые обмотки применяют в машинах средней мощности низкого напряжения, чтобы разделить большой ток якоря на параллельные ветви и тем самым уменьшить сечение провода.

На рис. 107 показана практическая схема-развертка простой петлевой обмотки со следующими данными: $z=108$, $2p=2a=8$, $u_п=4$. Верхние стороны секций проведены сплошными линиями, а нижние — штриховыми. Коллекторные пластины изображены прямоугольниками.

Для равносекционной петлевой обмотки шаги обмотки определяют по следующим формулам:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{108}{8} = 13{,}5;\ \text{принимаем}\ y_z = 13;$$

$$y = y_к = 1;$$

$$k = u_п z = 4 \cdot 108 = 432;$$

$$y_1 = y_z \cdot u_п = 13 \cdot 4 = 52;$$

$$y_2 = y_1 - y = 52 - 1 = 51.$$

На схеме видно, что стороны первой катушки лежат в пазах *1* и *14*. Первую секцию верхней стороной соединяют с коллекторной пластиной *1*, а нижней стороной — с коллекторной пластиной *2*. Остальные секции соединяют с другими коллекторными пластинами аналогично. Это правая петлевая обмотка, так как при обходе ее передвигаются по коллектору вправо. В пазу *1* лежат секции *1, 2, 3* и *4*, а в пазу *14* — секции *53, 54, 55, 56*. Соединения в двухслойной обмотке производят между верхними секциями паза *1* и нижними секциями паза *14*.

Упражнения. Составить практические схемы следующих простых петлевых обмоток:

1) $z=48$, $2p=6$, $u_п=3$;
2) $z=60$, $2p=8$, $u_п=4$;
3) $z=65$, $2p=10$, $u_п=4$.

§ 67. СЛОЖНО-ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

Сложно-петлевая обмотка состоит из ряда простых петлевых обмоток, присоединенных к одному коллектору. В результате число параллельных ветвей обмотки увеличивается. Например, если взять m простых обмоток, то в сложной обмотке число параллельных ветвей будет в m раз больше, чем в простой.

Таким образом, число параллельных ветвей сложно-петлевой обмотки:

$$2a = 2pm. \tag{26}$$

Сложно-петлевую обмотку называют также множественно-петлевой. В сложно-петлевой обмотке для равномерного и симметричного расположения на якоре простых обмоток секции последних чередуются. Первую секцию относят к первой простой обмотке, вторую — ко второй и т. д.

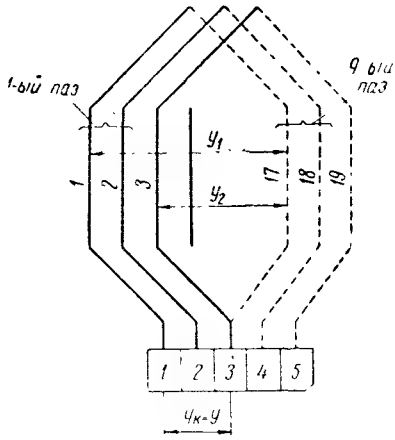


Рис. 108. Практическая схема сложно-петлевой обмотки

Результирующий шаг обмотки и шаг по коллектору выражают формулой

$$y = y_к = \pm m. \tag{27}$$

Обычно применяют правую сложно-петлевую обмотку, у которой перед m стоит знак плюс. Остальные шаги сложно-петлевой обмотки рассчитывают так же, как и для простой петлевой.

К сложно-петлевым обмоткам прибегают в тех случаях, когда нужно увеличить число параллельных ветвей обмотки, чтобы снизить ток в каждой параллельной ветви. Это бывает необходимо в низковольтных машинах или машинах большой мощности, у которых велик ток якоря. Часто используют двукратную сложно-петлевую обмотку с $m=2$.

Число щеток по окружности коллектора в сложно-петлевой обмотке равно числу полюсов.

На рис. 108 показана практическая схема сложно-петлевой обмотки со следующими данными: $z=32$; $2p=4$; $u_п=2$; $m=2$.

Остальные данные обмотки рассчитывают по формулам:

$$2a = 2pm = 8;$$

$$k = u_п z = 64;$$

$$y_z = \frac{z}{2p} = 8;$$

$$y = y_к = 2;$$

$$y_1 = y_z u_п = 16;$$

$$y_2 = y_1 - y = 14.$$

Если $y_к$ и k имеют общий наибольший делитель q, то сложная обмотка будет состоять из q отдельных замкнутых обмоток. При $q=2$ получим двукратнозамкнутую обмотку.

При обходе двукратнозамкнутой обмотки секции первой обмотки будут соединены с нечетными коллекторными пластинами, а секции второй обмотки — с четными. Таким образом, эти обмотки на якоре между собой не соединены и замыкаются только через щетки.

В обмотке, схема которой изображена на рис. 108, общий наибольший делитель для $y_к$ и k будет $q=2$. Поэтому обмотка является двукратнозамкнутой. Как видно на схеме, первая обмотка соединена с нечетными пластинами коллектора. Если продолжить схему, то будет видно, что она замкнется на пластине *1*. Вторая обмотка начнется с пластины коллектора *2* и будет соединяться только с четными пластинами.

Если $y_к$ и k не имеют общего делителя, то обмотка будет однократнозамкнутой. При обходе такой обмотки вначале будем попадать только в нечетные пластины коллектора, затем перейдем на четные, после чего обмотка замкнется на той же коллекторной пластине, с которой началась, т. е. на коллекторной пластине *1*.

Упражнения. Составить практические схемы следующих сложно-петлевых обмоток:

1) $z=32$, $2p=4$, $u_п=2$, $m=2$;
2) $z=36$, $2p=4$, $u_п=3$, $m=2$;
3) $z=42$, $2p=6$, $u_п=3$, $m=2$.

§ 68. ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Характерная особенность волновой обмотки заключается в том, что выводные концы секций присоединяют не к соседним коллекторным пластинам, как в петлевой обмотке, а к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми равно двойному полюсному делению (рис. 109). В четырехполюсной машине эти пластины расположены на противоположных сторонах коллектора. Сделав обход окружности якоря в виде волн, следует попасть в коллекторную пластину, соседнюю с той, от которой начат обход якоря.

Шаг волновой обмотки по коллектору определяют по формуле

$$y_к = \frac{k \pm 1}{p}. \qquad (28)$$

Шаг по коллектору должен выражаться целым числом. Поэтому в четырехполюсной машине ($p=2$) число коллекторных пластин при волновой обмотке обязательно должно быть нечетным.

Волновая обмотка может быть правой или левой. В первом случае, обойдя якорь, приходят к коллекторной пластине, расположенной справа от первой, а во втором случае — к коллекторной пластине, расположенной слева от первой.

Чтобы получить правую обмотку, нужно в формуле (28), определяющей шаг по коллектору, взять в числителе знак +. В противоположность правой петлевой обмотке правая волновая обмотка получается с перекрещенными концами у коллектора, поэтому на практике ее избегают. Предпочитают применять левую волновую обмотку, для которой шаг по коллектору выражается формулой

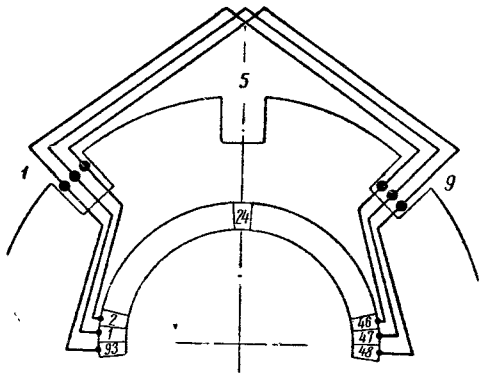


Рис. 109. Практическая схема простой волновой обмотки

$$y_к = \frac{k-1}{p}. \qquad (29)$$

Первый и второй шаги волновой обмотки связаны формулой

$$y_1 + y_2 = y = y_к. \qquad (30)$$

Число параллельных ветвей волновой обмотки не зависит от числа полюсов машины и для простой волновой обмотки равно двум.

$$2a = 2. \qquad (31)$$

В простой волновой обмотке могут быть установлены на коллекторе только две щетки на расстоянии полюсного деления друг от друга. Так, например, в четырехполюсной машине можно установить две щетки под углом 90° одна к другой. Возможность установки уменьшенного числа щеток объясняется тем, что щетка заданной полярности, стоящая на коллекторной пластине, соединена с остальными пластинами соответствующих нейтральных зон через секции, в которых э. д. с. практически не наводятся.

Машины с уменьшенным числом щеток применяют только в тех случаях, когда доступ к коллектору затруднен. Например, в некоторых трамвайных двигателях ставят на коллекторе только две щетки, доступ к которым осуществляют через люк в дне вагона. Обычно же число щеток по окружности коллектора берут равным числу полюсов, уменьшая тем самым ток, прохо-

дящий через каждую щетку, а следовательно, ее размеры и длину коллектора.

Составим практическую торцовую схему простой волновой обмотки со следующими данными: $z=31$, $2p=4$, $u_п=3$.

Рассчитаем шаги обмотки:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{31}{4} = 7{,}75; \text{ принимаем } y_z = 8;$$

$$k = u_п z = 3 \cdot 31 = 93;$$

$$y_к = \frac{k-1}{p} = \frac{93-1}{2} = 46;$$

$$y_1 = y_z u_п = 8 \cdot 3 = 24;$$

$$y_2 = y_к - y_1 = 46 - 24 = 22.$$

На рис. 109 показана практическая торцовая схема обмотки с данными, приведенными в примере. Она является более наглядной, чем схема-развертка. На схеме показана только первая катушка, поэтому шаг y_2, которым соединяются секции первой и второй катушек, не виден. На этой схеме с коллекторной пластиной *1* соединен не крайний верхний провод паза *1*, а средний. Кроме того, на схеме показаны паз *5* и коллекторная пластина *24*, которые с секциями первой катушки не соединены. Все это будет объяснено в § 76.

Как видно из формул (28) и (29), волновая обмотка может быть выполнена не при всяком числе пластин коллектора k. Шаг по коллектору $y_к$ обязательно должен быть целым числом, поэтому числители этих формул должны без остатка делиться на знаменатель. С другой стороны, число коллекторных пластин должно быть равно произведению числа пазов z на число секций в катушке $u_п$. Таким образом, шаг по коллектору зависит от числа секций в катушке $u_п$ и от числа пар полюсов p.

В симметричной волновой обмотке число секций в катушке $u_п$ и число пар полюсов p не должны иметь общего делителя, большего единицы.

Например, в обмотке с $u_п=3$ и $p=3$ шаг по коллектору

$$y_к = \frac{z \cdot 3 \pm 1}{3}.$$

Легко убедиться, что какое бы число пазов z мы не подставляли в эту формулу, шаг по коллектору $y_к$ не будет целым числом.

Упражнения. Составить практические схемы простых волновых обмоток:

1) $z=41$, $2p=4$, $u_п=3$;
2) $z=49$, $2p=6$, $u_п=4$;
3) $z=63$, $2p=8$, $u_п=3$.

§ 69. ТАБЛИЦЫ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК

Иногда приходится обматывать якорь, для которого нет готовой схемы. Вычерчивание схемы занимает много времени и требует наличия чертежных принадлежностей. Но можно обматывать якорь и без схемы, составив таблицу соединений.

Ниже показан на примере волновой обмотки порядок вычислений для составления таблицы. Составление таблицы особенно важно для волновой обмотки, так как на практической схеме (рис. 109) не видно, что будет после первого обхода якоря по схеме. Если в практическую схему вкралась ошибка, то вся обмотка будет неправильно выполнена.

С помощью таблицы можно быстро проверить выполнимость обмотки.

Рассмотрим составление таблицы для простой волновой обмотки со следующими данными: $z=27$, $2p=4$, $u_п=3$.

Из этих данных можно установить, что число коллекторных пластин в такой обмотке

$$k = u_п z = 3 \cdot 27 = 81.$$

Шаг по коллектору

$$y_к = \frac{81-1}{2} = 40.$$

Шаг по пазам

$$y_z = \frac{27}{4} = 6{,}75; \text{ принимаем } y_z = 7.$$

Первый шаг

$$y_1 = 7 \cdot 3 = 21.$$

Второй шаг

$$y_2 = 40 - 21 = 19.$$

Теперь есть все данные для составления таблицы. Для наглядности будем параллельно с вычислением таблицы рисовать схематическое изображение обмотки (рис. 110, *а*). Так как катушка имеет три секции, то в каждом пазу будет шесть секций (три верхние и три нижние). Они изображены в пазах шестью кружочками, расположенными в два слоя. Ниже пазов проведем две черты и между ними квадратиками будем обозначать коллекторные пластины.

Расчет схемы и составление таблицы начинаем с провода *1*, который лежит в верхнем слое первого паза крайним слева. Соединим его с коллекторной пластиной *1*. Теперь нужно соединить этот провод с другим проводом обмотки со стороны, противоположной коллектору. Для этого следует к номеру провода прибавить первый шаг. Получим $1+21=22$, т. е. провод *1* надо соединить с проводом *22*.

Но мы еще не знаем, в каком пазу лежит этот провод и какое место он в нем занимает. Для ответа на этот вопрос пронумеруем провода первого паза цифрами *1; 2; 3*. Теперь нетрудно узнать, где будет расположен провод *22*. Так как в пазу находятся три секции в каждом слое, то полученное число 22 надо разделить на 3. Получим 7 и 1 в остатке. Остаток показывает, что провод *22* лежит первым с левого края паза. Частное от деления 7 показывает шаг по пазам, т. е. что этот провод будет

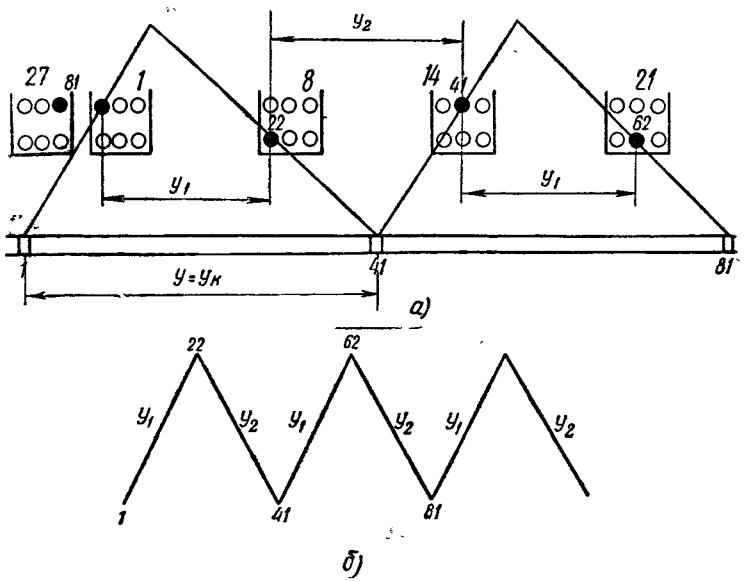


Рис. 110. Эскизы к составлению таблицы обмотки:
а — схематическое изображение обмотки, *б* — табличное изображение обмотки

лежать в 1+7=8-м пазу. Обмотка двухслойная, поэтому провод должен лежать в нижнем слое паза.

Посмотрим, к какой коллекторной пластине он должен быть присоединен. Для этого к пластине *1* надо прибавить шаг по коллектору. Получим 1+40=41, т. е. провод присоединяется к 41-й коллекторной пластине.

Теперь нужно узнать, с каким проводом должен быть соединен провод *22*. Для этого к номеру провода прибавим второй шаг и получим 22+19=41. Разделив 41 на 3, узнаем, что провод лежит в 1+13=14-м пазу и занимает второе место от края в верхнем слое.

Мы видим, что провод *22*, лежащий в 8-м пазу слева, соединяется с проводом *41*, лежащим в середине 14-го паза. Это вполн-

не возможно, так как провода *22* и *41* относятся к разным катушкам.

К номеру провода *41* снова прибавим первый шаг и получим 41+21=62. Разделив 62 на 3, получим 20 и 2 в остатке. Это значит, что провод *62* лежит в 21-м пазу и занимает второе место в нижнем слое, т. е. расположен в пазу симметрично проводу *41*.

Чтобы узнать, с какой коллекторной пластиной он должен быть соединен, прибавим к номеру пластины *41* шаг по коллектору. Получим 41+40=81, т. е. мы пришли к коллекторной пластине, которая на коллекторе расположена рядом с пластиной *1*, слева от нее. Это и требуется для простой левой волновой обмотки. Для того чтобы закончить один обход схемы, прибавим к проводу *62* второй шаг и получим 62+19=81. Согласно тем же рассуждениям этот провод занимает третье место слева в верхнем слое 27-го паза, который на якоре расположен рядом с пазом *1*.

Первый обход якоря показал, что шаги обмотки выбраны правильно. Если будем продолжать обходы якоря, то займем провода и коллекторные пластины, лежащие рядом с проводами и пластинами первого обхода.

Если требуется удостовериться в том, что, обойдя всю обмотку, мы снова придем к проводу *1*, можно рассчитать и построить упрощенную схему обмотки без изображения пазов и коллекторных пластин. Для этого нужно к проводу *1* прибавить первый шаг и т. д. Такую таблицу можно изобразить в виде зигзагообразной линии, показанной на рис. 110, *б*. После обхода всех проводов мы должны обязательно снова прийти к проводу *1*.

Аналогичную схему можно построить и для петлевой обмотки.

Упражнения. Составить таблицы обмоток:

1) волновой $z=64$, $2p=6$, $u_п=4$;
2) волновой $z=51$, $2p=8$, $u_п=3$;
3) петлевой $z=32$, $2p=8$, $u_п=4$.

§ 70. ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С «МЕРТВЫМИ» СЕКЦИЯМИ

В волновых обмотках число коллекторных пластин должно удовлетворять следующим двум условиям:

число коллекторных пластин по формуле (22) должно быть равно числу пазов, умноженному на число секций в катушках;

шаг по коллектору по формуле (28) должен быть целым числом.

На практике встречаются обмотки, при которых оба эти условия не могут быть выполнены.

Разберем такой пример: число пазов $z=20$, число секций в катушке $u_п=1$, число полюсов $2p=4$. По первому условию число коллекторных пластин должно быть $k=20 \cdot 1=20$. По второму условию для четырехполюсной машины число коллекторных пластин должно быть обязательно нечетным. Таким образом, приходится нарушить первое условие и взять коллектор с 19 пластинами. Тогда для одной секции не хватит места на коллекто-

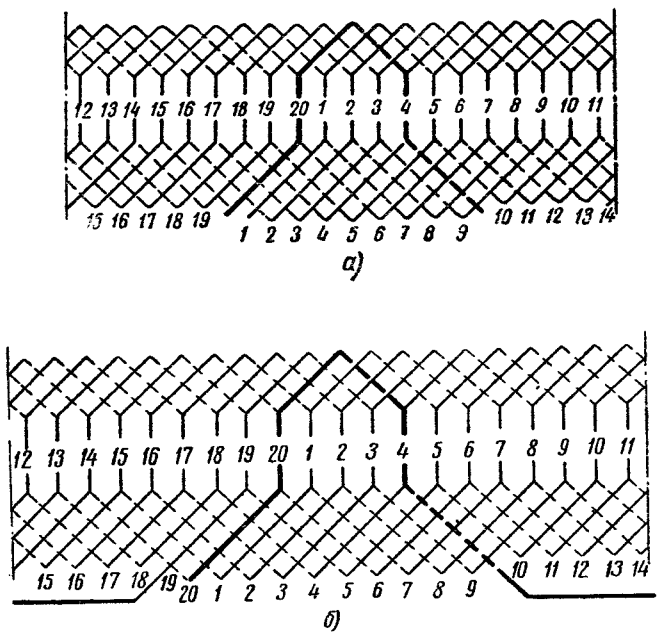


Рис. 111. Схемы несимметричных волновых обмоток:
а — обмотка с мертвой секцией, *б* — искусственно-замкнутая обмотка

ре. Поэтому у одной секции отрезают выводы и не присоединяют их к коллектору. Такие секции называют *«мертвыми»*, потому что они, хотя и лежат в пазах, но не соединены с остальными проводами обмотки и ток в них не протекает.

Схема волновой обмотки с мертвой секцией показана на рис. 111, *а*, где мертвые провода обозначены жирными линиями. Обычно мертвые провода располагают на якоре так, чтобы верхний провод лежал в последнем пазу якоря, а нижний отстоял от него на величину шага обмотки. Мертвые провода могут быть только в волновых обмотках. В петлевых обмотках число коллекторных пластин не связано двумя указанными условиями и мертвых проводов в них не бывает.

Мертвые провода нарушают симметрию в обмотке и вызывают искрение под щетками. На эти провода бесполезно затрачивается медь, но оставлять места мертвых проводов пустыми или заполнять их легкими изоляционными материалами нельзя, так как при этом сместится центр тяжести якоря и его трудно будет сбалансировать.

Уменьшить число коллекторных пластин на одну легко при изготовлении новой машины на заводе. Но часто приходится применять волновую обмотку, имея готовый якорь с коллектором.

В таком случае поступают следующим образом (рис. 111, *б*). Вместо того чтобы делать мертвую секцию, лежащую в пазах *4* и *20,* соединяют ее верхний провод с верхним же проводом паза *14,* а нижний провод — с верхним проводом паза *19*. Это соединение, показанное горизонтальной жирной линией, выполняют проводом, огибающим лобовые части обмотки якоря.

Теперь на якоре использованы все 20 катушек, а на коллекторе — все 20 пластин. Таким образом, не пришлось переделывать коллектор и обмотка получилась без мертвой секции.

Обмотка, схема которой показана на рис. 111, *б,* называется *искусственно-замкнутой.*

§ 71. СЛОЖНО-ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Сложно-волновая обмотка представляет собой несколько волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Число параллельных ветвей в такой обмотке будет во столько раз больше числа параллельных ветвей простой волновой обмотки, из скольких простых обмоток она состоит. *Практически применяется двукратная волновая обмотка, у которой при любом числе полюсов число параллельных ветвей равно четырем.*

$$2a = 4.$$

Сделав полный обход якоря, следует прийти в коллекторную пластину, лежащую не рядом с первой, а не доходя до нее на одну пластину. Чтобы выполнить это условие, шаг по коллектору двукратной левой волновой обмотки должен быть:

$$y_к = \frac{k-2}{p}. \qquad (32)$$

Если число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, то обмотка будет однократно-замкнутая. Это значит, что, начав обход с пластины *1,* снова приходят в нее, обойдя все провода обмотки. Если же число пар параллельных ветвей обмотки и шаг по коллектору имеют общий

делитель, то сложно-волновая обмотка будет состоять из двух самостоятельных обмоток, как бы вложенных одна в другую и соединяющихся между собой через щетки.

Сложно-волновые обмотки применяют в сочетании с петлевыми в лягушечьих обмотках (см. § 74).

Дана сложно-волновая обмотка: $z=58$, $2p=8$, $u_{\text{п}}=3$, $m=2$.

Число пластин коллектора по формуле (22)

$$k = 3 \cdot 58 = 174.$$

Шаг по коллектору по формуле (28):

$$y_{\text{к}} = \frac{174-2}{4} = 43.$$

Число параллельных ветвей

$$2a = 4.$$

Число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, следовательно, обмотка однократнозамкнутая.

Упражнение. Рассчитать сложно-волновую обмотку со следующими данными: $z=76$, $2p=6$, $u_{\text{п}}=2$, $m=2$ и определить, будет ли она однократно- или двукратнозамкнутой.

§ 72. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В петлевых обмотках каждая параллельная ветвь обмотки расположена под парой соседних полюсов. Поэтому неравенство потоков отдельных пар полюсов вызывает неравенство э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки. Неравенство потоков может быть вызвано или неравномерностью зазоров между якорем и полюсами, или наличием раковин в отливках магнитных станин. Это вызывает уравнительные токи между отдельными параллельными ветвями, проходящие через щетки и шины, соединяющие щетки одинаковой полярности.

Ввиду того что сопротивление этой цепи ничтожно, даже небольшая разница э. д. с. приводит к большим уравнительным токам, которые нагружают щетки и вызывают искрение на коллекторе. Для борьбы с уравнительными токами обмотку снабжают уравнительными соединениями. Их выполняют из медных проводов, которые соединяют коллекторные пластины, лежащие под щетками одинаковой полярности.

При наличии уравнительных соединений уравнительный ток не будет проходить через щетки. Но уравнительные соединения служат не только для разгрузки щеток. Протекающий по ним ток создает магнитное поле, которое усиливает магнитный поток машины в тех местах, где он ослаблен, и уменьшает магнит-

ный поток там, где он усилен. Таким образом, уравнительные соединения устраняют саму причину, вызывающую уравнительные токи.

Уравнительные соединения чаще всего помещают под лобовыми частями обмотки и вкладывают их в прорези коллекторных пластин перед укладкой катушек обмотки. В машинах средней мощности уравнительные соединения ставят не во все коллекторные пластины. Считается достаточным, если одно уравнительное соединение приходится на паз якоря, а число уравнительных соединений равно числу пазов. Поперечное сечение провода для уравнительных соединений берут от $^1/_5$ до $^1/_3$ сечения провода обмотки.

Шаг уравнительных соединений равен числу коллекторных пластин, разделенному на число пар параллельных ветвей:

$$y_{ур} = \frac{k}{a}. \qquad (33)$$

Так как шаг уравнительных соединений должен выражаться целым числом, необходимо, чтобы в машинах с уравнительными соединениями число пластин коллектора делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.

Определим шаг и число уравнительных соединений петлевой обмотки якоря со следующими данными: $z=54$; $2p=6$; $u_п=3$; $k=54\cdot 3=162$.

Шаг уравнительных соединений:

$$y_{ур} = \frac{k}{a} = \frac{162}{3} = 54, \text{ т. е. } 1-55.$$

Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнительным соединением, равно числу пар полюсов, т. е. трем. Если уравнительные соединения будут поставлены через две коллекторные пластины, то всего на якорь потребуется $162:9=18$ уравнительных соединений.

Расстановка их может быть выражена следующей таблицей, указывающей номера коллекторных пластин, к которым присоединяется уравнительное соединение:

1-е	уравнительное	соединение	1—55—109—1;
2-е	»	»	4—58—112—4;
3-е	»	»	7—61—115—7;
4-е	»	»	10—64—118—10;
5-е	»	»	13—67—121—13 и т. д.

Уравнительные соединения конструктивно выполняют двух видов: в виде колец и в виде вилок. В первом случае каждое уравнительное соединение будет представлять собой кольцо из провода с тремя симметрично расположенными отпайками, присоединяемыми к коллекторным пластинам 1—55—109 и т. д. Во

втором случае каждое уравнительное соединение будет состоять из трех вилок. Первая вилка соединяет пластины 1 и 55, вторая — 55 и 109, третья вилка — 109 и 1.

В четырехполюсной машине каждое уравнительное соединение должно замыкать две противоположные точки обмотки, отстоящие одна от другой на двойное полюсное деление. Такие соединения удобнее делать в виде вилок, которые припаивают или к хомутикам секции, или к пластинам коллектора.

При большом числе полюсов каждое уравнительное соединение должно состоять из нескольких вилок, число которых равно числу пар полюсов. Чтобы облегчить выполнение уравнительных соединений в многополюсных машинах, их делают в виде колец с числом отпаек, равным числу пар полюсов.

Уравнительные соединения выполняют из обмоточной меди или из голых медных шин и изолируют так же, как и секции обмотки.

Простые волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как провода каждой параллельной ветви располагаются под всеми полюсами. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях, и э. д. с. в них будут равны.

Для сложно-волновых обмоток необходимы уравнительные соединения. Соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам. Если переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, принадлежащими разным обмоткам, будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также будут распределяться обратно пропорционально сопротивлениям.

Неравномерное распределение тока между отдельными волновыми обмотками повлечет за собой неравные падения напряжения, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пластинами могут сильно увеличиться. Чтобы избежать повышения напряжения между соседними пластинами и для выравнивания его, необходимо простые волновые обмотки, составляющие сложно-волновую обмотку, связать между собой уравнительными соединениями.

На рис. 112, *а* показана часть схемы сложно-волновой обмотки со следующими данными: $2p=8$; $z=78$; $u_п=3$; $k=78\cdot 3=234$.

Определим шаг по коллектору и шаг уравнительных соединений:

$$y_к=\frac{234-2}{4}=58;\quad y_{ур}=\frac{234}{2}=117.$$

Между пластинами *1* и *3* включены последовательно четыре секции. Чтобы коллекторная пластина *2* делила напряжение между ними пополам, ее необходимо соединить с коллекторной

пластиной *119*, которая принадлежит другой обмотке и находится посередине между пластинами *1* и *3* на противоположной точке схемы. При нечетном числе пар полюсов уравнительным соединением соединяют точки схемы, находящиеся на противоположных торцах якоря, и соединение проходит вдоль якоря, как показано на схеме шестиполюсной обмотки (рис. 112, *б*). Число уравнителей в сложно-волновой обмотке берется около двух на полюс.

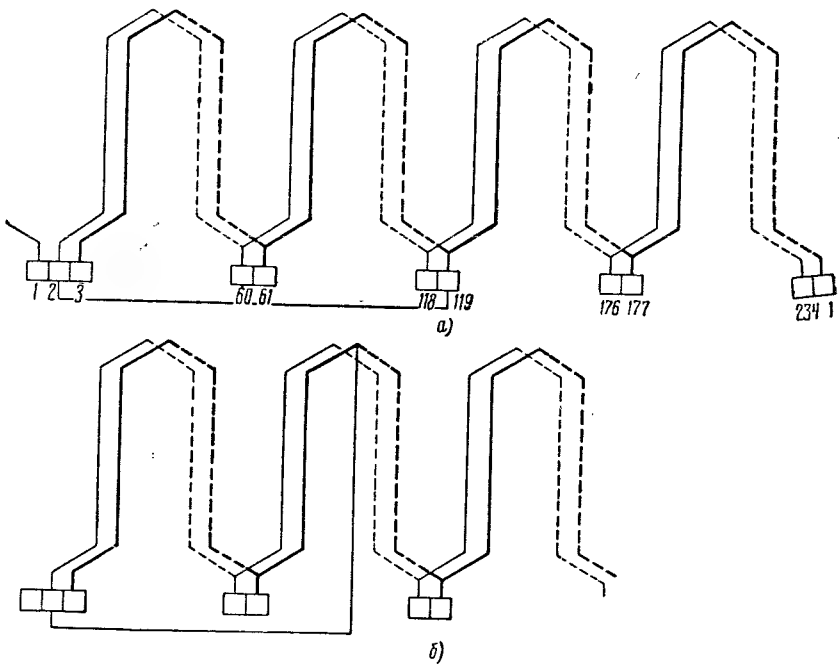


Рис. 112. Уравнительные соединения в сложно-волновых обмотках:
а — при четном числе пар полюсов, *б* — при нечетном числе пар полюсов

В сложно-петлевой обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток, для устранения возникновения уравнительных токов вследствие неравенства магнитных потоков отдельных полюсов каждая из петлевых обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями. Шаг уравнительных соединений

$$y_{ур} = \frac{k}{p}. \qquad (34)$$

Уравнительные соединения для одной обмотки выполняют со стороны коллектора, для другой — со стороны, противополож-

ной коллектору. Кроме того, для равномерного распределения напряжений между соседними коллекторными пластинами обе петлевые обмотки должны быть связаны между собой уравнительными соединениями. Эти соединения протягивают с одной стороны якоря на другую. Их укладывают в промежутках между ребрами якорной втулки или через осевые каналы якоря.

На рис. 113 изображена часть схемы сложно-петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: $2p=4$; $z=20$; $k=20$, число параллельных ветвей $2a=8$. На схеме провода, которые принадлежат двум петлевым обмоткам, составляющим сложно-петлевую обмотку, изображены тонкой и толстой линиями. Уравнительные соединения (на схеме A, B, C и D) расположены с обеих сторон якоря. Шаг уравнительных соединений согласно формуле (34):

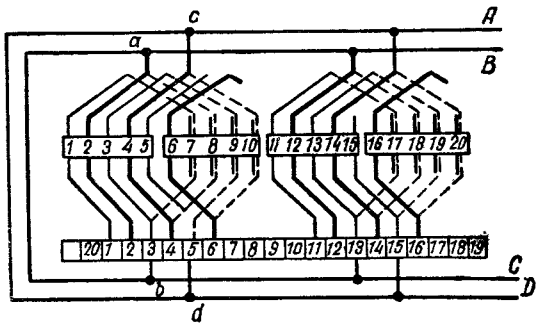


Рис. 113. Уравнительные соединения в сложно-петлевой обмотке

$$y_{ур}=\frac{k}{p}=\frac{20}{2}=10.$$

Уравнительные соединения между обмотками обозначены линиями ab и cd, переходящими с одной стороны якоря на другую (с левой стороны схемы).

Из схемы видно, что уравнительное соединение ab соединяет середину секции, состоящей из проводов *2* и *8*, с коллекторной пластиной *3*, принадлежащей второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами *2* и *4* делится коллекторной пластиной *3* пополам. Напряжение между коллекторными пластинами *2* и *3* и пластинами *3* и *4* равно напряжению одного провода.

Упражнения. Составить таблицы уравнительных соединений для следующих обмоток:

1) простой петлевой $z=64$, $2p=4$, $u_п=3$;
2) простой петлевой $z=78$, $2p=6$, $u_п=4$;
3) сложно-волновой $z=58$, $2p=8$, $u_п=3$, $m=2$;
4) сложно-петлевой $z=42$, $2p=6$, $u_п=3$, $m=2$.

§ 73. СТУПЕНЧАТЫЕ ОБМОТКИ

В § 65 было сказано, что для получения равносекционных обмоток необходимо, чтобы первый шаг обмотки удовлетворял формуле (23).

При расчете таблицы обмотки якоря (см. рис. 110) было установлено, что шаг y_1 соединяет секции со стороны якоря, противоположной коллектору. Чтобы все секции данной катушки изолировать общей лентой, надо иметь секции одинаковой ширины, которые кладутся в одни и те же пазы якоря. Поэтому в равносекционных обмотках шагом y_1 всегда соединяют симметрично расположенные в пазах провода, например *1* и *22* или *41* и *62* (см. рис. 110). Это требование не распространяется на шаг y_2, так как он осуществляется выводными проводами катушек. Поэтому провода *22* и *41* или *62* и *1* расположены в пазах несимметрично.

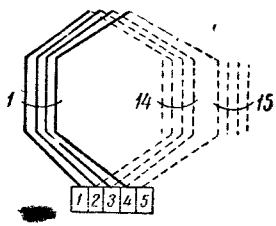


Рис. 114. Практическая схема ступенчатой обмотки

Равносекционные или равнокатушечные обмотки, будучи более удобными для производства, имеют недостатки в отношении коммутации машины. Если в пазу расположены рядом стороны многих секций, то при изменении направления тока в проводе в момент замыкания секции накоротко щеткой на коллекторе в этой секции наводятся значительные э. д. с. взаимоиндукции соседними секциями. При этом возникает искрение на коллекторе под щетками, что ускоряет износ как щеток, так и пластин коллектора.

Для уменьшения э. д. с. взаимоиндукции в крупных машинах с многими секциями в пазу стремятся отвести секции, соседние с коммутируемой секцией, в другой паз. Очевидно, этого можно достичь, искусственно увеличив шаг y_1.

Возьмем обмотку, схема которой показана на рис. 107, и изменим у нее шаг y_1, взяв $y_1=53$ вместо $y_1=y_z \cdot u_п=52$. Соответственно увеличится и шаг y_2; $y_2=53-1=52$.

На рис. 114 изображена практическая схема этой обмотки. На ней мы видим, что из четырех проводов, выходящих из паза *1*, три попали в паз *14*, а четвертый отделился от них и попал в паз *15*. Таким образом, при коммутации в любой секции паза *1* наводится э. д. с. взаимоиндукции не тремя другими, а только двумя соседними секциями. Поэтому искрение на коллекторе слабее.

Такие обмотки называют ступенчатыми, потому что нижние провода одной катушки сдвинуты по пазам по сравнению с равнокатушечной обмоткой.

Ступенчатые обмотки имеют особую технологию изготовления. Как видно на схеме (рис. 114), только три секции катушки можно гнуть на одном шаблоне, а четвертая имеет другие размеры. Теперь уже нельзя все четыре нижних провода катушки изолировать общей лентой; нужно их изолировать отдельно. В связи с таким усложнением изготовления ступенчатых обмоток

их обычно выполняют не из целых катушек, а из полукатушек. Такие обмотки называют *разрезными* (см. рис. 43, *б*).

Разрезные обмотки также имеют недостатки. Так, со стороны якоря, противоположной коллектору, нужно все провода попарно спаять между собой и места пайки изолировать, на что уходит много времени и расходуются дополнительные материалы. Для машин с нагревостойкой изоляцией пайка мягкими припоями недопустима и приходится паять соединения проводов твердыми припоями при тесном расположении проводов, что затрудняет паяние.

В последнее время ступенчатые обмотки начали изготовлять из целых несимметричных катушек, у которых одна сторона имеет общую изоляцию всех проводов, а другая выполнена ступенчатой и ее провода вкладывают в два соседних паза. На рис. 115 показана такая катушка завода «Электротяжмаш». При укладке таких катушек в пазы удалось избежать сложной операции паяния соединений между проводами со стороны якоря, противоположной коллектору.

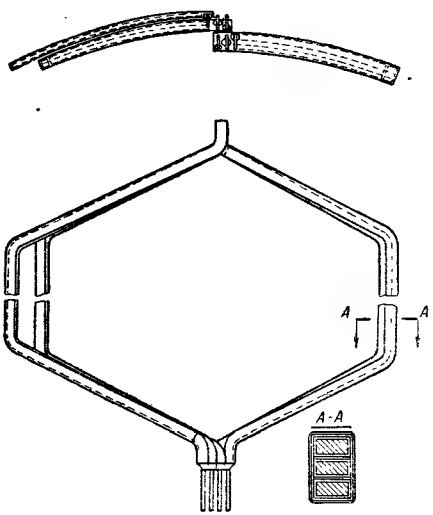


Рис. 115. Катушка ступенчатой обмотки

Этой катушке присуща еще одна очень важная особенность. Известно, что в обмотках статора машин переменного тока провода всегда располагают широкой стороной, обращенной к дну паза (см. рис. 56). Это позволяет значительно снизить дополнительные потери в проводах. Наоборот, в якорях машин постоянного тока провода всегда располагают ребром к дну паза. Для снижения потерь приходится разделять провода по высоте паза на два параллельных (см. рис. 45), что вызывает дополнительные трудности при гибке и изолировке катушек. На рис. 115 провода расположены широкой стороной, обращенной к дну паза. Благодаря этому значительно снижаются потери в сечении проводов и упрощается гибка и изолировка катушек.

Для вкладывания в петушки коллектора выводные концы катушек подвергают прессовке, при которой сечение провода деформируется, уменьшаясь по ширине и увеличиваясь по высоте. Эта операция сопровождается отжигом медных проводов

во избежание появления на них трещин. Этот пример показывает, что некоторые положения, в течение многих лет считавшиеся непреложными, могут быть изменены совместной работой конструкторов, технологов и рабочих-рационализаторов электромашиностроительных заводов.

§ 74. «ЛЯГУШЕЧЬИ» ОБМОТКИ

Катушка лягушечьей обмотки (рис. 116) по форме несколько напоминает лягушку, откуда обмотка и получила свое название.

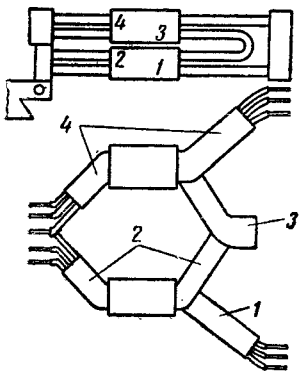


Рис. 116. Катушка «лягушечьей» обмотки

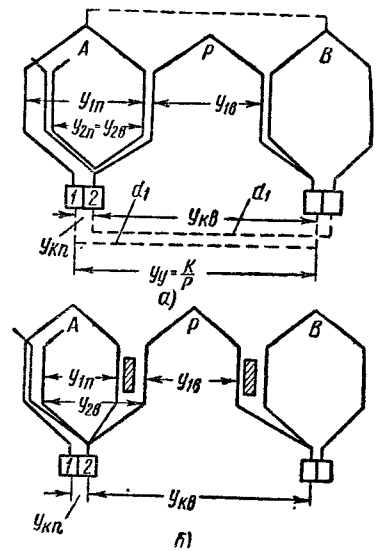


Рис. 117. Схемы построения «лягушечьей» обмотки
а, б — варианты схем

Лягушечью обмотку можно рассматривать как параллельное соединение двух обмоток, петлевой и сложно-волновой, уложенных в пазы якоря и присоединенных к одному коллектору. Ее применяют в машинах с большим током якоря.

В лягушечьей обмотке число проводов петлевой и волновой обмоток, а также числа параллельных ветвей обмоток берут одинаковыми:

$$2a_п = 2a_в, \qquad (35)$$

где $2a_п$ — число параллельных ветвей петлевой обмотки;

$2a_в$ — число параллельных ветвей волновой обмотки.

Таким образом, число параллельных ветвей лягушечьей обмотки в два раза больше числа параллельных ветвей петлевой обмотки.

Другое преимущество лягушечьей обмотки перед петлевой заключается в том, что она не требует применения уравнительных соединений, так как провода одной из обмоток одновременно служат соединениями для другой обмотки.

Наиболее распространенным является выполнение лягушечьей обмотки, при котором катушки петлевой обмотки изготовляют целыми, а катушки волновой обмотки — разрезными (рис. 116).

При укладке в пазы лягушечья обмотка образует четыре слоя. В пазах обе обмотки располагают следующим образом: слои *1* и *4* занимают провода волновой обмотки, а слои *2* и *3* — провода петлевой обмотки. Таким образом, секции волновой обмотки на лобовых частях охватывают секции петлевой обмотки.

Если петлевая и волновая обмотки имеют одинаковый шаг по пазам, то обе катушки могут иметь общую изоляцию и представляют собой как бы одну катушку с четырьмя выводами. Выводы к коллектору петлевой и волновой обмоток должны быть разделены, потому что, выходя из паза, они идут в разных направлениях.

Шаг лягушечьей обмотки по пазам определяют так же, как и для других обмоток, по формуле (8).

Так как обе обмотки соединяются параллельно, они должны иметь одинаковое число параллельных ветвей. Таким образом можно установить, какую волновую обмотку нужно применить в лягушечьей обмотке.

Возьмем для примера четырехполюсную машину. Простая петлевая обмотка такой машины имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов, т. е. четыре параллельные ветви. Такое же число параллельных ветвей должна иметь и сложно-волновая обмотка. Четыре параллельные ветви имеет двукратная волновая обмотка. Следовательно, лягушечья обмотка четырехполюсной машины состоит из простой петлевой обмотки и двукратной сложно-волновой обмотки, у которой шаг по коллектору выражается формулой (32).

Так как секции петлевой и волновой обмоток присоединяют к одним и тем же коллекторным пластинам, необходимо иметь определенные соотношения между шагами обмоток, чтобы не возникали уравнительные токи. Существуют две схемы соединения петлевых и волновых секций лягушечьих обмоток.

Согласно первой схеме (рис. 117, *а*) две секции *А* и *В* исходной петлевой обмотки располагают одну от другой на расстоянии двойного полюсного деления. Таким образом, между любыми двумя точками секций разность потенциалов равна нулю и секции могут быть соединены уравнительными проводами d_1, которые на рис. 117, *а* показаны штриховыми линиями.

Секция волновой обмотки *Р* образуется соединением конца секции *А* с началом секции *В* через провода, расположенные рядом с близлежащими сторонами секций *А* и *В*. В любом замкнутом контуре, образованном секцией волновой обмотки и любым из указанных выше уравнительных проводов, сумма

э. д. с. равна нулю. Следовательно, введение секции волновой обмотки не нарушает равновесия э. д. с. в петлевой обмотке.

Соотношения между шагами петлевых и волновых секций в лягушечьей обмотке выражают уравнениями:

$$y_{1п} + y_{1в} = \frac{k}{p}; \tag{36}$$

$$y_{кп} + y_{кв} = \frac{k}{p}; \tag{37}$$

$$y_{2п} = y_{2в}, \tag{38}$$

где $y_{1п}$ — первый шаг петлевой обмотки;

$y_{1в}$ — первый шаг волновой обмотки;

$y_{2п}$ — второй шаг петлевой обмотки;

$y_{2в}$ — второй шаг волновой обмотки;

$y_{кп}$ — шаг по коллектору петлевой обмотки;

$y_{кв}$ — шаг по коллектору волновой обмотки.

Для получения второй схемы сначала строят нормальную схему лягушечьей обмотки по рис. 117, *а*, выбирая для исходной петлевой обмотки диаметральный шаг. Затем правые стороны петлевых и волновых обмоток переносят в соседние пазы (рис. 117, *б*). В результате вместо диаметральных секций во второй схеме получают хордовые секции. Петлевые и волновые секции будут одинаковой ширины:

$$y_{1п} = y_{1в}. \tag{39}$$

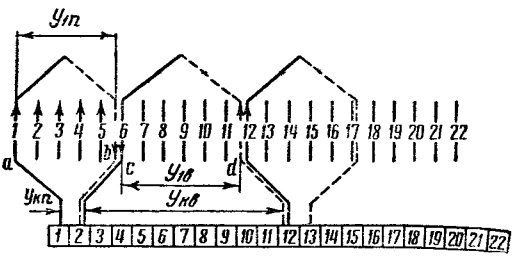


Рис. 118. Схема «лягушечьей» обмотки

Во второй схеме сумма э. д. с. петлевых и волновых секций в любом замыкающемся контуре также равна нулю. В обмотках по второй схеме необходимо иметь целое число пазов на полюс.

Рассмотрим развернутую схему лягушечьей обмотки со следующими данными (рис. 118): $2p=4$; $z=22$; $u_п=4$; $k=22$.

Каждая из обмоток имеет по четыре параллельные ветви. Шаги обмотки выбраны следующие:

для петлевой обмотки

шаг по коллектору $y_{кп} = 1$,

первый шаг $y_{1п} = \frac{k-2}{2p} = \frac{22-2}{4} = 5$;

для сложно-волновой обмотки

шаг по коллектору $y_к = \frac{k-2}{p} = \frac{22-2}{2} = 10$,

первый шаг $y_{1в} = 6$,

второй шаг $y_{2в} = 10 - 6 = 4$.

Таким образом, шаги по пазам петлевой и волновой обмоток здесь разные. Каждая катушка в этой схеме состоит из одной секции, и первые шаги выражают и шаги по пазам. Следовательно, петлевая обмотка имеет шаг по пазам $y_z = 5$, т. е. из 1-го паза в 6-й, а волновая обмотка имеет шаг по пазам $y_z = 6$, т. е. из 1-го паза в 7-й.

В этом случае катушка не может иметь общей изоляции по всему контуру. Изолировать вместе можно провода, лежащие на дне паза. Провода верхней стороны этой катушки, принадлежащие петлевой и волновой обмоткам, будут лежать в разных пазах и поэтому должны быть изолированы отдельно.

Чтобы секции обеих обмоток находились в равных магнитных условиях и э. д. с. в них уравновешивались, лягушечья обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

1. Первый частичный шаг петлевой обмотки и первый частичный шаг волновой обмотки должны быть связаны формулой (36).

В данной обмотке это условие выполнено, так как $6+5 = 22:2 = 11$.

2. Шаги по коллектору для обеих обмоток должны быть связаны равенством (37).

Как видно из технических данных обмотки, это условие в ней также выполнено:

$$1 + 10 = \frac{22}{2} = 11.$$

§ 75. СИММЕТРИЯ ОБМОТОК

Якорная обмотка должна быть симметричной. Это значит, что при всех положениях якоря относительно полюсов в параллельных ветвях обмотки должны наводиться одинаковые э. д. с. и сопротивления всех параллельных ветвей обмотки должны быть одинаковыми. Для обеспечения электрической симметрии обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

1. Так как обмотка является двухслойной, то провода каждого паза делятся на две равные части, лежащие в верхнем и нижнем слоях. Отсюда вытекает первое условие: *число секций в пазу должно быть четное.* Это условие не выполняется только для волновых обмоток с мертвыми секциями.

2. Всякая многополюсная обмотка может быть представлена состоящей из нескольких двухполюсных обмоток, причем число их равно числу пар параллельных ветвей обмотки. Поэтому *число коллекторных пластин должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей обмотки.*

3. По этим же соображениям *число пазов якоря должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей.*

4. Чтобы секциям одной пары параллельных ветвей соответствовали секции в других параллельных ветвях, находящихся в таких же магнитных условиях, *необходимо, чтобы число полюсов делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.*

Посмотрим, какие требования предъявляют с учетом этих условий к выполнению различных обмоток.

Для простой петлевой обмотки число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Поэтому четвертое условие для нее всегда выполняется. Второе и третье условия для этой обмотки могут быть выражены и иначе, если учесть, что число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Тогда для петлевой обмотки второе и третье условия можно выразить так: число коллекторных пластин и число пазов должны делиться без остатка на число пар полюсов. Если эти два условия выполнены, то обмотка будет симметрична.

В сложно-петлевых обмотках четвертое условие может быть выполнено только в том случае, если $a=2p$, а это будет в обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток. Второе и третье условия выполняются только при четном числе коллекторных пластин. Однако на практике применяют сложно-петлевые обмотки с нечетным числом коллекторных пластин, которые хотя и несимметричны, но работают вполне удовлетворительно.

В простой волновой обмотке число пар параллельных ветвей равно единице (две параллельные ветви). Поэтому она всегда удовлетворяет второму, третьему и четвертому условиям. Несимметричны только волновые обмотки с мертвыми секциями, тем не менее их применяют на практике.

Для сложно-волновой обмотки, состоящей из двух простых обмоток, должны выполняться все четыре условия симметрии.

§ 76. РАЗМЕТКА ЯКОРЯ ПОД ОБМОТКУ

Разметкой якоря под укладку обмотки называется нанесение на пазах якоря и коллекторных пластинах коллектора условных знаков, показывающих, в какие пазы должны быть вложены стороны первой катушки и с какими коллекторными пластинами должны быть соединены выводные концы этой катушки. Таким образом, разметка заключается в перенесении практической схемы обмотки на якорь.

Разметка начинается с нахождения на якоре оси симметрии первой катушки. В зависимости от шага обмотки по пазам ось симметрии может проходить через середину паза или через середину зубца, а на коллекторе — в зависимости от шага обмотки по коллектору — через середину пластины или через миканитовую прокладку между пластинами.

В качестве примера разметки якоря возьмем практическую схему, показанную на рис. 109. Это волновая обмотка с шагом по пазам *1—9*. Ось симметрии первой катушки в данной схеме проходит через середину паза *5*. При шаге по коллектору *1—47* ось симметрии проходит через середину 24-й коллекторной пластины.

Хотя число коллекторных пластин кратно числу пазов, между пазами и пластинами возможны сдвиги в ту или иную сторону, ввиду того что медные пластины и миканитовые прокладки имеют допуски на толщину. При разметке якоря находят такой паз, который точнее других совпадает с коллекторной пластиной. Этому пазу присваивают номер 5, а пластине — 24. Отсчитывая от оси симметрии вправо и влево половину шага по пазам, находят пазы *1* и *9*, а на коллекторе — пластины *1* и *47*.

Чтобы катушка располагалась симметрично относительно оси, надо с пластинами *1* и *47* соединить средние провода катушки. Тогда первый провод верхней стороны катушки будет соединен с последней пластиной коллектора, имеющей номер 93, а второй вывод этой же секции — с пластиной *46*. Третья секция катушки будет соединена с пластинами *2* и *48*.

Если бы в катушке было четыре секции, то с пластиной *1* надо было бы соединить вывод второй секции, лежащей слева от середины паза *1*. При шаге по пазам *1—10* ось симметрии на якоре проходила бы через середину зубца, который расположен между 5 и 6-м пазами. При шаге по коллектору *1—48* ось симметрии на коллекторе проходила бы через миканитовую прокладку между пластинами *24* и *25*.

Для разметки якоря пользуются специальным шаблоном, представляющим собой скобу, опирающуюся на шейки вала. Над коллектором и якорем на шаблоне укреплены передвижные стрелки, которые устанавливают по пазу или зубцу на якоре и по пластине или миканитовой прокладке на коллекторе. Особенно точно надо находить ось симметрии на якорях машин, у которых нельзя сдвигать щетки по окружности коллектора. Для нанесения разметки на якоре делают крестообразные зарубки на зубцах, между которыми лежат пазы с первой катушкой (на рис. 109 это пазы *1* и *9*). На торцах коллекторных пластин *93*; *1*; *2*; *46*; *47* и *48* кернером намечают точки.

Разметка якоря является очень ответственной операцией. Если выводные концы катушки расположены несимметрично относительно оси симметрии, то щетки на коллекторе сдвинуты с

нейтралей и при работе машины сильно искрят. Двигатель с таким якорем имеет различные скорости при вращении по часовой и против часовой стрелки. Поэтому разметку якоря поручают только опытным обмотчикам или бригадирам.

Упражнения. Составить схемы разметки простых волновых обмоток со следующими данными:

1) $2p=4$, $z=35$, $k=105$, $y_z=8$;
2) $2p=4$, $z=41$, $k=123$, $y_z=10$;
3) $2p=4$, $z=25$, $k=125$, $y_z=7$.

§ 77. УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРОВ

В процессе укладки обмотки в пазы выводные концы ее вставляют в петушки коллекторных пластин и запаивают. Поэтому, прежде чем говорить об укладке обмотки в пазы, надо ознакомиться с устройством коллекторов. Коллектор представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных частей машины постоянного тока. Сложность конструкции коллектора объясняется тем, что в процессе работы коллектор нагревается и его пластины расширяются. Кроме того, на них действуют большие центробежные силы, стремящиеся оторвать пластины от места их закрепления.

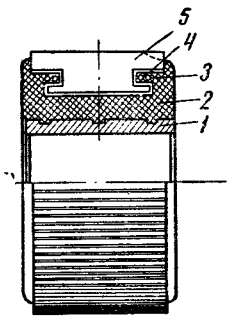


Рис. 119. Коллектор с пластмассовым корпусом

В электрических машинах применяют три основных конструкции коллекторов. Для микромашин и машин средней мощности широко распространены коллекторы на пластмассе, для крупных машин — коллекторы со стальными конусами и для быстроходных машин — коллекторы с бандажными кольцами.

На рис. 119 показана конструкция коллектора на пластмассе. Он состоит из медных пластин *5* клинообразного сечения с прокладками *4* между ними из специального коллекторного миканита. Пластины собирают в круг и прессуют в прессовочных кольцах под большим давлением. Для повышения механической прочности коллекторы армируют кольцами *3*, согнутыми из стальной проволоки и сваренными.

Чтобы стальные кольца не создавали замыканий между медными пластинами, коллекторные пластины и миканитовые прокладки штампуют разными штампами. У миканитовых прокладок размеры прямоугольной впадины меньше, чем у медных пластин на 1,5—2 *мм* и поэтому они выступают из медных пластин, образуя гребенку. Эти выступы и защищают кольца от соединения с пластинами коллектора. Спрессованный коллектор вместе с прессующим кольцом вкладывают в пресс-форму, в которую вставлена втулка коллектора *1*. В образованную между ними кольцевую щель под давлением впрессовывают пластмассу *2*. Она запол-

няет все промежутки и прочно скрепляет пластины коллектора между собой и с втулкой.

Пресс-форма имеет подогрев в виде спиралей, по которым пропускают электрический ток. При прессовке с одновременным подогревом пластмасса из порошкообразного состояния превращается в твердое, что обеспечивает высокую прочность коллектора. Коллекторы микромашин не собирают из отдельных пластин, а выдавливают для них кольцо с зубцами на внутренней окружности. При прессовке пластмасса затекает во впадины между зубцами. Кольца разделяют на отдельные пластины после запрессовки в пластмассу фрезерованием или обточкой наружной поверхности коллектора.

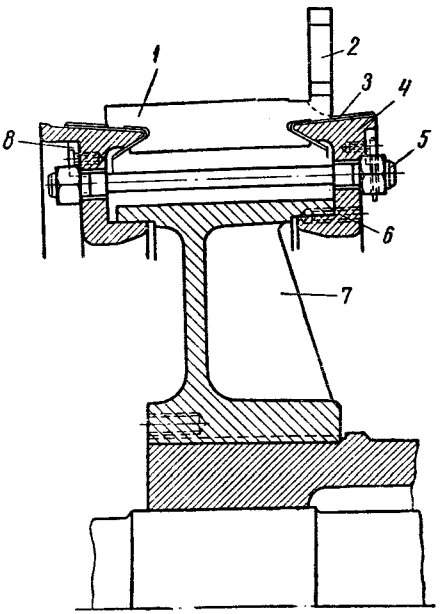


Рис. 120. Коллектор крупной машины

Для коллекторов на пластмассе машин общего назначения используют асборезольную пластмассу К-6. Ее изготовляют на основе фенольноформальдегидных смол с наполнителем из волокнистого асбеста. Эта пластмасса имеет достаточную механическую прочность и нагревостойкость, допуская температуры до 200° С.

К недостаткам ее можно отнести сравнительно невысокую электрическую прочность из-за наличия в асбестовом волокне железистых включений. В машинах с повышенным напряжением это может вызвать замыкание между пластинами. Пластмассу К-6 нельзя применять в качестве изоляции между пластинами в коллекторах с прессованными заготовками пластин вследствие ее малой текучести.

Пластмассы типов АГ-4 марок В и С на основе специальной смолы с наполнителем из стекловолокна обладают значительно более высокими механическими и электрическими свойствами. Их применяют в крупных и высоковольтных машинах. Из пластмассы АГ-4С делают даже армировочные кольца, так как предел прочности ее на растяжение составляет 5000 *кГ/см*^{2}, т. е. приближается к прочности стали.

Коллектор крупной машины (рис. 120) состоит из нескольких сотен медных пластин *1* с миканитовыми прокладками между ними. Ввиду того что в крупных машинах пластины

коллектора далеко отстоят от пазов якоря, в каждую пластину коллектора впаяна полоска *2* из листовой меди для соединения с проводами обмотки якоря. Эти полоски называют петушками коллектора.

Пластины с миканитовыми прокладками несколько раз прессуют в кольцах с подогревом, чтобы добиться необходимой плотности кольца, составленного из меди и миканита. Затем в пластинах протачивают угловые канавки, в которые вставляют миканитовые манжеты *3,* спрессованные из формовочного миканита. Они изолируют пластины от стальных нажимных конусов *4.* Задний конус прикреплен к втулке *7* коллектора винтами *6,* а передний может передвигаться по заточке, сделанной на втулке *7.* Конусы стянуты между собой длинными шпильками *5* с навернутыми на них гайками.

При нагревании коллектора пластины его удлиняются и передают давление на шпильки, которые при этом также вытягиваются. После охлаждения коллектора пластины и шпильки снова укорачиваются.

Таким образом, шпильки играют роль пружин, которые всегда держат пластины в зажатом состоянии. Если бы пластины были заперты на втулке, они при нагревании коробились бы и коллектор из цилиндра превратился бы в «бочку». Между тем к поверхности коллектора предъявляют весьма жесткие требования, согласно которым биение коллектора не должно превышать 0,04 *мм.*

Втулка *7* коллектора насажена не на вал, а на продолжение втулки якоря. Это сделано для того, чтобы прогиб вала не передавал деформаций на петушки коллектора. Кроме того, в случае аварии такая конструкция позволяет выпрессовать вал, не нарушая соединений петушков коллектора с проводами обмотки. В процессе производства коллектор подвергают разгону при повышенном числе оборотов. Чтобы избежать вибраций при вращении, коллектор балансируют прикреплением грузиков *8* с обоих его торцов. При изготовлении коллектора на наружной его поверхности оставляют припуск, который стачивают после обмотки якоря.

На рис. 121 показана конструкция коллектора с бандажными кольцами, применяемого для возбудителя турбогенератора. Для таких коллекторов, вращающихся с окружной скоростью 50 *м/сек* и выше, прочность нажимных конусов была бы недостаточной. Коллекторные пластины *8* этого коллектора прессуют с миканитовыми прокладками в прессовочных кольцах. Затем одно из колец снимают, коллектор насаживают на оправку и протачивают на его поверхности три канавки. В эти канавки наматывают и впрессовывают миканитовые пояски *11.* На них в горячем состоянии напрессовывают бандажные кольца *6.*

Затем внутреннее отверстие в пластинах растачивают на ко-

нус. Втулку *2* коллектора также обтачивают на конус, обматывают миканитом *7* и прессуют в пресс-форме. Поверхность миканита обрабатывают резцом, и надевают пластины коллектора на втулку. После прессовки с нагревом навертывают на резьбу втулки гайку *3* и защищают ее от самоотвертывания запорной шайбой *4*. Торцы пластин изолируют от металлической шайбы *4* изоляционной шайбой *5*. Для соединения с обмоткой якоря в пластины коллектора впаяны ленточные петушки *10*.

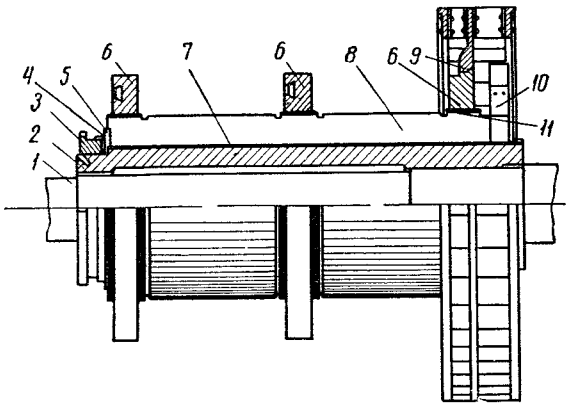


Рис. 121. Коллектор с бандажными кольцами

К крайнему бандажному кольцу привернут вентилятор *9* с двумя камерами. Левая камера охлаждает поверхность коллектора, а правая — якорь возбудителя. В процессе производства коллектор подвергают разгону при повышенных оборотах с подогревом. Для уравновешивания несбалансированных масс в канавки бандажных колец укрепляют балансировочные грузы. Готовый коллектор напрессовывают на вал *1* возбудителя. Окончательно обрабатывают наружную поверхность коллектора после обмотки якоря.

В процессе работы машины вследствие неравномерного срабатывания медных пластин коллектора и миканитовых прокладок между ними последние могут выступать на поверхности коллектора, что сильно ухудшает работу щеток. Для предотвращения этого у всех коллекторов выфрезеровывают миканитовые прокладки на глубину 0,8—1,5 *мм*. Поверхность коллектора покрывается продольными дорожками, откуда операция получила название *продороживание* коллектора.

Конструкция станка для продороживания коллекторов электрических машин средней мощности показана на рис. 122. Мика-

нитовые прокладки между пластинами прорезают дисковой фрезой *3* диаметром 20 *мм*. Такой малый диаметр фрезы берут для того, чтобы она не перерезала петушки коллектора. Толщину фрезы выбирают равной толщине миканитовых прокладок *2*. Фреза насажена на шпиндель *4*, который через шпиндельную головку *5* соединен с электродвигателем *6*.

Для установки фрезы по высоте шпиндельную головку можно перемещать вместе с суппортом *9* при помощи маховичка *7*. Продольная подача фрезы осуществляется маховичком *14*, пере-

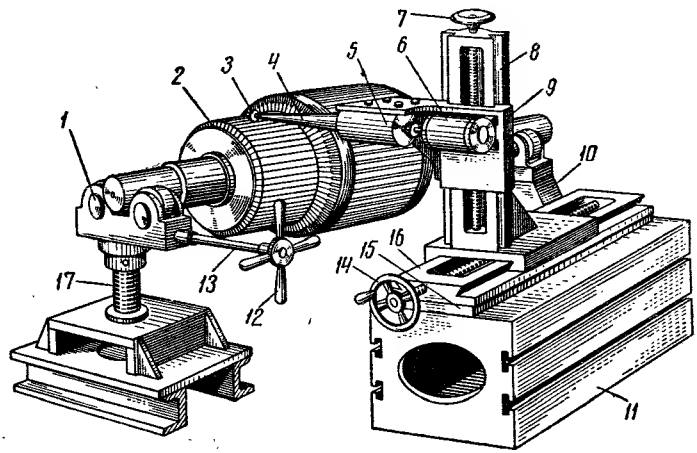


Рис. 122. Станок для продороживания коллекторов

двигающим суппорт *8* по направляющим *16*. Вся фрезерная установка укрепляется на чугунной стойке *11*. Ввиду того что в коллекторах обычно имеет место перекос пластин, фрезерная установка может поворачиваться относительно плиты *15*.

Якорь кладут шейками вала на роликовые опоры, опирающиеся осями на стойки *10* и *17*. После прорезания одной прокладки поворачивают якорь на одно деление коллектора маховичком *12*, который через валик *13* передает вращение червячной шестерне, поворачивающей один из роликов *1*.

Так как коллекторные пластины и миканитовые прокладки имеют отклонения толщин, приходится поворачивать якорь вручную, наводя его каждый раз на середину фрезы. Если бы якорь механически поворачивался точно на одно деление коллектора после фрезерования каждой прокладки, то фреза через несколько поворотов стала бы прорезать не миканитовую прокладку, а медную пластину. На Харьковском заводе «Электротяжмаш» спроектирован и построен полуавтоматический станок для про-

дороживания коллекторов. Он оборудован следящей системой, устанавливающей каждую миканитовую прокладку по центру фрезы.

Коллекторы крупных машин диаметром от 1,2 до 3 *м* продороживают до посадки коллектора на вал якоря. Для этой операции на заводах серийного производства строят специальные установки, представляющие собой сварную ферму с консольным кронштейном, на котором укреплены оси роликов. На эти ролики опускают внутреннюю окружность втулки коллектора. Один из роликов является приводным и служит для перекатывания коллектора по мере перехода процесса продороживания от одних прокладок к другим. Сбоку от фермы находится кронштейн, на котором устанавливают электродвигатель продорживателя. Фрезеровщик стоит на сварной стойке с торца коллектора. Стойка регулируется по высоте в зависимости от радиальной толщины коллектора.

Конструкция такого продорживателя показана на рис. 123. К лапам электродвигателя привернута пластина *11* с резиновыми амортизаторами. К подшипниковому щиту и к станине привернута ручка для переноса продорживателя. На конец вала надета муфта *1* брони *2* гибкого валика *3*. Броня валика представляет собой гофрированную трубку из спирально завитой профилированной ленты.

Гибкий валик соединен с концом вала электродвигателя. Другой его конец имеет наконечник *6*, соединенный со шпинделем *7* фрезы *8*, которую он приводит во

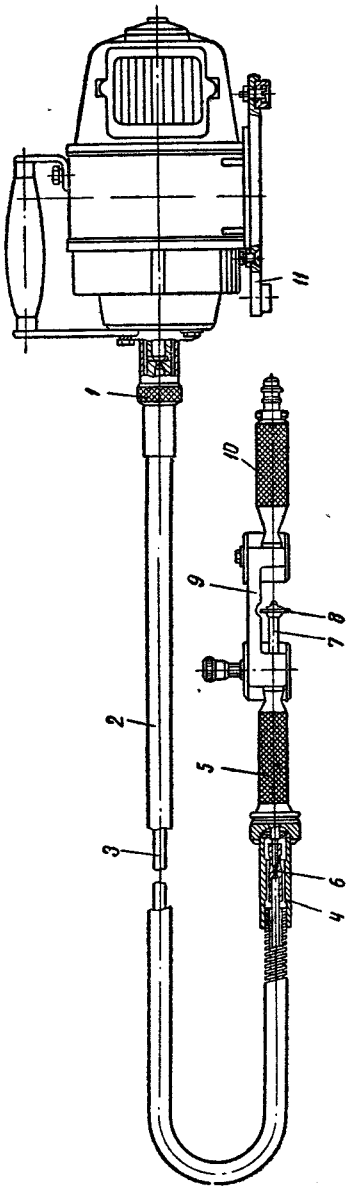


Рис. 123. Продорживатель для крупных коллекторов

вращение. Второй конец брони валика трубкой *4* прикреплен к рукоятке *5*. Броня служит для защиты гибкого валика от механических повреждений и для сохранения в нем смазки. Рукоятки *5* и *10* ввернуты в корпус *9* продороживателя. Во время работы фрезеровщик держит корпус продороживателя за обе ручки и продвигает фрезу вдоль пластин коллектора. Для удаления миканитовой пыли и мелкой медной стружки все установки для продороживания оборудуют вытяжной вентиляцией.

§ 78. УКЛАДКА ОБМОТОК В ПАЗЫ

Перед укладкой обмотки обдувают сердечник сжатым воздухом из шланга для удаления из пазов опилок и пыли. Поверхность пазов тщательно осматривают, освещая их лампой местного освещения. При этом удаляют все заусенцы, выправляют погнутые зубцы и распорки между пакетами. Сердечник и поверхности обмоткодержателей окрашивают черным асфальтовым лаком с помощью пульверизатора или кисти и просушивают. Контрольной лампой проверяют отсутствие замыканий между смежными коллекторными пластинами. По практической схеме обмотки размечают якорь для укладки первой катушки.

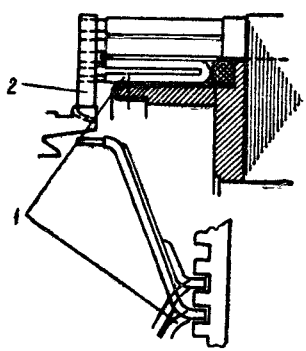


Рис. 124. Укладка уравнительных соединений

Затем приступают к изолировке пазов и нажимных шайб якоря согласно чертежу обмотки. Толщина изоляции обмоткодержателей должна быть выдержана так, чтобы выступающие концы пазовых гильз опирались на нее во избежание разрывов гильз при забивании катушек в пазы. Полосы изоляционных материалов, которыми изолируют обмоткодержатели, туго затягивают киперной лентой.

Уравнительные соединения *1* (рис. 124) устанавливают до укладки катушек в пазы, и концы их вставляют в хомутики петушков *2*. Секции уравнительных соединений скрепляют бандажами согласно чертежу. В крупных машинах роль уравнительных соединений играют ленточные петушки коллекторных пластин. При этом они располагаются не радиально, а наклонно (рис. 125). Два хомутика *1* и *4* разрезной обмотки, имеющие одинаковый потенциал, соединяют двумя петушками. При этом петушки должны быть расположены в два ряда (передний *3* и задний *2*). Очевидно, что такая обмотка может быть выполнена только с полным числом уравнительных соединений.

Катушки обмотки могут быть левыми и правыми. Если смотреть со стороны коллектора, то у правых катушек правая сторона лежит на дне паза, а у левых катушек — левая. Обычно на каждом заводе все обмотки выполняют только с одним типом катушек, чтобы избежать необходимости применения разных способов укладки катушек в пазы.

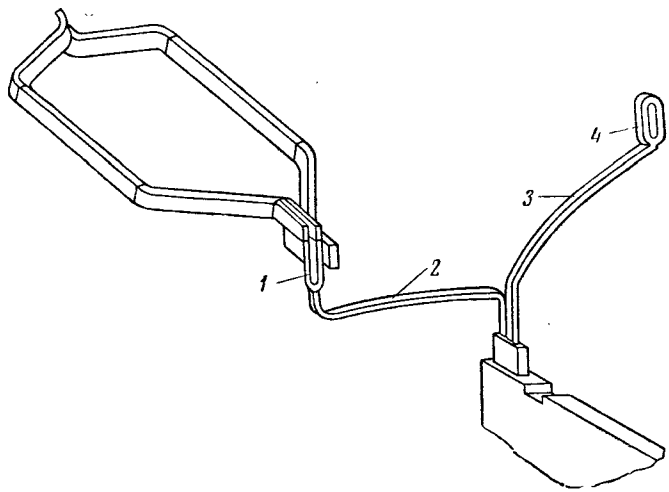


Рис. 125. Уравнительные соединения в петушках

Ввиду того что обмотчику удобнее работать, когда коллектор расположен с левой стороны, наибольшее распространение имеют правые катушки.

Процесс вкладывания катушек в пазы начинается с нижней стороны первой катушки, которую обмотчик осаживает на дно паза ударами молотка через фибровую прокладку. Вслед за первой вкладывают нижние стороны следующих катушек, а верхние остаются поднятыми до тех пор, пока не будут вложены стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. После этого вместе с нижними сторонами катушек вкладывают и верхние стороны.

Одновременно с укладкой катушек в пазы выводные концы их соединяют с пластинами коллектора. Соединение первой катушки должно быть выполнено в полном соответствии с практической схемой обмотки, зафиксированной на якоре и коллекторе при разметке якоря под обмотку. При укладке следующих катушек из круглого провода во избежание нарушения правильной

последовательности укладки секций катушки проверяют контрольной лампой. Это особенно необходимо при всыпных обмотках, у которых выводные концы выходят из пазов не правильными рядами, а пучком. В жестких катушках исключается возможность перепутывания концов секций.

Стороны катушки должны плотно входить в пазы, потому что если при работе машины катушки будут перемещаться в пазах, изоляция их быстро сотрется. Однако, чтобы не слишком сильно ударять при осаживании катушек в пазы, предусматривают допуски на укладку, т. е. толщину катушки делают несколько меньше ширины паза. Величина допуска зависит от конструкции катушек. Для мягких катушек он составляет от 5 до 8% от толщины катушки. Для одновитковых катушек из прямоугольного провода, подвергающихся при изготовлении прессовке, допуск берут от 0,1 до 0,2 *мм* в зависимости от числа секций в катушке. Если катушки входят в паз слишком свободно, то увеличивают толщину пазовых гильз.

Пазовые части катушек, лежащие в пазах, распределяются симметрично по окружности якоря. Равномерное распределение по окружности лобовых частей катушек в большой степени зависит от обмотчика. При укладке лобовых частей он прижимает их друг к другу вплотную, чтобы можно было свободно вложить между ними лобовые части последних катушек. Таким образом, лобовые части последних катушек лежат свободнее, чем первых. Если их так оставить, то центр тяжести якоря будет сильно сдвинут с геометрической оси и при балансировке придется к легкой стороне якоря прикреплять большие балансировочные грузы во избежание вибрации машины при работе. Для таких грузов может вообще не хватить места на торце якоря. Поэтому после укладки всех катушек обмотчик разгоняет лобовые части с помощью деревянного клина.

В машинах малой мощности с коллекторами на пластмассе и ручными обмотками на торцах якоря нет места для крепления балансировочных грузов. Такие машины балансируют, забивая в отдельные пазы кусочки металлических клиньев вместо деревянных.

Не рекомендуется производить балансировку путем напаивания припоя на проволочные бандажи лобовых частей. При больших грузах это влечет за собой растягивание бандажей при вращении якоря и нарушение балансировки. Поэтому в конструкции быстроходных микромашин часто предусматривают специальные диски, насаженные на вал вблизи подшипников. Такие якори балансируют, высверливая отверстия в ободе балансировочного диска. Если балансировочные грузы крепят на легкой стороне якоря, то высверливание делают на диаметрально противоположной его стороне.

§ 79. РУЧНЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Длина лобовых частей шаблонных обмоток якоря растет с уменьшением диаметра якоря и увеличением шага обмотки. Если бы микромашины мощностью в десятки и сотни ватт выполняли с шаблонными обмотками, то длина лобовых частей превышала бы длину якоря. Это связано с увеличением длины машины, расхода меди и потерь в обмотке. Кроме того, в быстроходных машинах лобовые части шаблонных обмоток было бы очень трудно

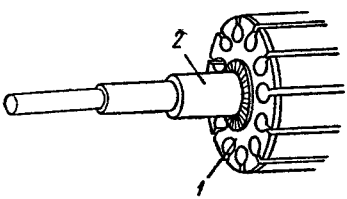


Рис. 126. Изоляция якоря с ручной обмоткой

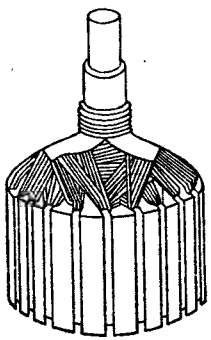


Рис. 127. Обмотанный якорь с ручной обмоткой

защитить от деформаций, вызванных воздействием центробежных сил. Поэтому обмотки якорей таких машин наматывают проводом непосредственно в пазы якоря.

Для защиты от замыкания на сердечник в пазы вставляют гильзы, по торцам якоря ставят изоляционные диски *1*, а на вал надевают изоляционные трубочки *2* (рис. 126). При мелкосерийном производстве якори обматывают вручную, поэтому такие обмотки называют *ручными* в отличие от шаблонных. На рис. 127 показан обмотанный якорь. Лобовые части обмотки плотно прижимаются к торцу сердечника, занимают очень мало места и не требуют никакого крепления, кроме склеивания их пропиточным лаком.

В процессе обмотки якорь кладут шейками вала на деревянные подставки и поддерживают его левой рукой. Правой вкладывают витки обмотки в пазы, обводя рукой вокруг полюсного деления обмоточный провод, сматываемый с катушки, расположенной на стойке. При намотке приходится все время считать витки, число которых в пазу бывает по несколько сотен. Обычно намотку производят до насадки на вал коллектора.

Ручную обмотку ведут в два слоя, однако витки располагаются на лобовых частях несимметрично. Например, при числе па-

зов $z=7$ и шаге по пазам $y_z=3$ сначала ведут намотку в пазы *1* и *4*, заполняя их проводами на половину, затем переходят в пазы *2* и *5*, а после — в пазы *3* и *6* (рис. 128, *а*). Все провода кладут в нижний слой обмотки. При переходе обмотки в пазы *4* и *7* провода в пазу *4* попадут в верхний слой, а в пазу *7* — в нижний. Теперь переходят в пазы *5* и *1*, в которых провода ложатся в верхний слой, и эти пазы заполняются проводами. Последние провода вкладывают в пазы *7* и *3*. При переходе из паза в паз оставляют петли, которые будут соединены с пластинами коллектора. Таким образом, вся обмотка ведется непрерывным проводом.

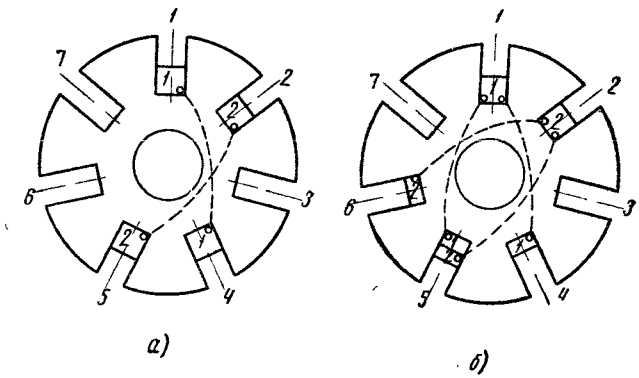


Рис. 128. Схемы ручных обмоток:
а — простая, *б* — «в елочку»

Несимметричное расположение лобовых частей приводит к смещению центра тяжести якоря и увеличивает их вылет. Чтобы добиться более симметричного расположения лобовых частей применяют намотку «в елочку». Для этого каждую катушку обмотки делят на две и наматывают ее из одного паза в два других, например из паза *1* в пазы *4* и *5* (рис. 128, *б*). После этого паз *1* заполняется наполовину, а пазы *4* и *5* — на одну четверть. Следующие катушки наматывают из паза *2* в пазы *5* и *6*, после чего паз *2* заполняется наполовину, паз *5* — также наполовину, а паз *6* — на одну четверть. Таким образом, в пазах обмотка располагается не в два, а в четыре слоя.

При намотке «в елочку» уже нельзя петли соединять с пластинами коллектора. После намотки надо петли разрезать и концы катушек соединить в порядке их расположения на якоре.

Однако и при намотке «в елочку» несимметрия еще сохраняется, хотя и в меньшей степени, чем при простой намотке. При нечетном числе пазов можно добиться симметричной укладки обмотки, если смещение делать не на один, а на три паза. Это

значит, что для данного якоря после намотки катушек из паза *1* в пазы *4* и *5* надо перейти в паз *4* и наматывать из него в пазы *7* и *1*. Следующие катушки будут намотаны из паза *7* в пазы *3* и *4* и т. д.

§ 80. ОБМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ ЯКОРЕЙ

Электродвигатели малой мощности выпускают в больших количествах, поэтому процессы ручных обмоток механизированы в значительно большей степени, чем шаблонных обмоток. В частности механизированы процессы изолировки пазов, обмотки якорей и забивки клиньев в пазы.

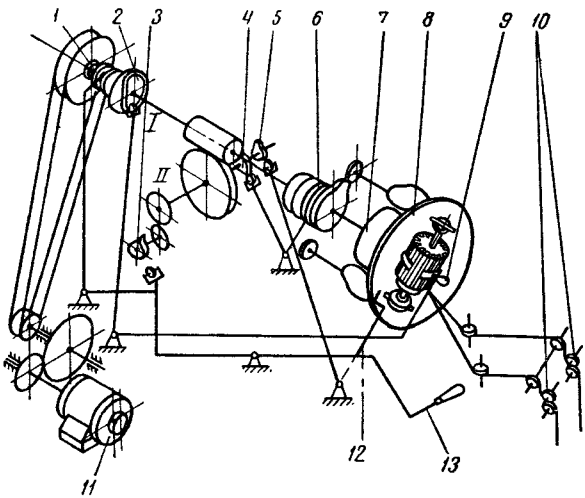


Рис. 129. Кинематическая схема обмоточного станка

Для намотки провода в пазы якоря применяют полуавтоматические станки различных типов. Выбор станка определяется размерами якоря, диаметром обмоточного провода, числом полюсов и схемой обмотки.

Конструкции существующих обмоточных станков основаны на следующих принципах:

при обмотке якорь вращается вокруг оси, перпендикулярной оси вала; провод наматывается в пазы с катушки по направляющим крыльям (рис. 129);

якорь неподвижен; провод вводится в пазы вращающимся вокруг якоря водилом (рис. 130);

комбинированное движение якоря или ротора с прямыми и скошенными пазами (рис. 131).

На рис. 129 показана кинематическая схема станка конструкции «Электрозавода» для обмотки якорей автомобильных генераторов со следующими данными: диаметр якоря 71 *мм*, провод ПЭЛБД диаметром 1,16 *мм*, число секций в катушке 4, число витков секции 4, скорость вращения планшайбы станка 350 *об/мин*.

Станок состоит из механизмов: натяжения провода *10*, укладки его в пазы, отрезки провода после намотки катушки, поворота якоря на одно зубцовое деление. Привод осуществляется от электродвигателя *11* через редуктор и фрикционную муфту *1* на вал *I*.

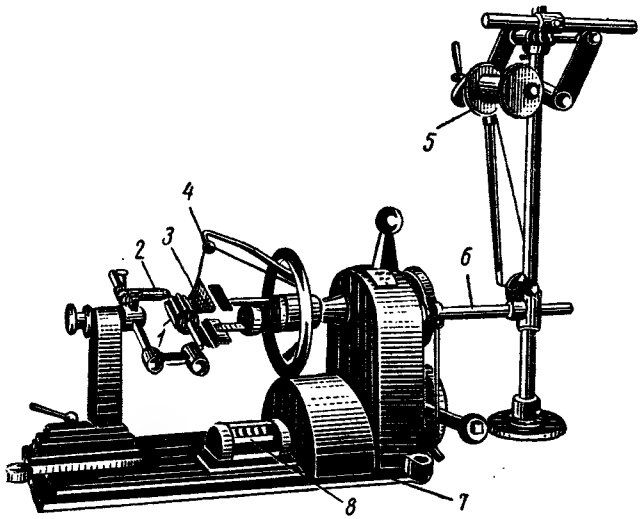


Рис. 130. Обмоточный станок для якорей

Вал *I* приводит в движение:

1) механизм укладки провода через дисковый копир *2*, который соединен тягами с направляющими крыльями *9*;

2) распределительный вал *II*, на котором закреплены кулачок отрезки провода *5*, кулачок *4*, фиксирующий поворотный кулачок *6* и кулачок *3* автоматической остановки станка после окончания операции обмотки якоря;

3) через кулачок *6* механизм *7* поворота якоря, закрепленного на планшайбе *8*.

Намотку производят четырьмя проводами с разными расцветками в соответствии с числом секций в катушке. Концы проводов закрепляют на планшайбе, и пускают станок при помощи рукоятки *13*. Планшайба вместе с якорем делает четыре оборота, останавливается и провода отрезаются от бухты ножом *12*. В это

время якорь поворачивается на одно зубцовое деление. Концы проводов закрепляют на планшайбе, и снова пускают станок. Провода попадают в пазы по направляющим крыльям.

Обмоточный станок, в котором обматывание производится при неподвижном якоре, показан на рис. 130. В процессе обмотки якорь *1* закрепляют за концы вала в вилке *2* станка и прижимают к его наружной поверхности направляющие шаблоны *3*. Провод сматывается с катушки *5*, пропускается через полый вал *6* и зажим на конце водила *4*, приводимого во вращение от электродвигателя *7* через редуктор. По существу станок повторяет процесс ручной обмотки. Станок снабжен счетчиком *8*, который автоматически останавливает водило после намотки требуемого числа витков. Заполнив первые два паза, якорь поворачивают вручную на одно зубцовое деление и снова включают станок. Станки этого типа приспособлены для четырех- и шестиполюсных машин при диаметре провода до 1,2 *мм*.

Достоинство этого способа намотки заключается в том, что можно наблюдать за укладкой провода в пазы и на лобовых частях и в случае необходимости подправлять его. Это особенно важно для якорей многополюсных машин с небольшим шагом обмотки. Однако эти станки не получили широкого распространения, так как ввиду необходимости поворачивать якорь после намотки каждой катушки требуется постоянное присутствие рабочего. Поэтому исключается возможность обслуживания одним рабочим нескольких станков.

Для улучшения коммутации, пусковых свойств и снижения шумов многие типы современных микродвигателей выполняют со скошенным пазом якоря или ротора. Скос пазов усложняет процесс намотки как ручной, так и на станках.

Обмоточный станок типа СНР С-1Б конструкции Ленинградского совнархоза (рис. 131) предназначен для обмотки якорей диаметром до 40 *мм* как с прямым, так и со скошенным пазом. На каретке *9* станка установлен шпиндель *11*, в котором закрепляются и одновременно обматываются два якоря. Провод, идущий с катушек *17* и *23*, установленных на стойке *16*, надевают на ролики *20* и *24*, продевают в отверстие специальной иглы *27* и закрепляют на валу.

В процессе намотки одного витка оба якоря совершают следующие движения: возвратно-поступательное вдоль оси вала; поворот вокруг оси на угол скоса пазов; поворот на величину шага обмотки в крайних положениях каретки. Возвратно-поступательные перемещения осуществляются движением каретки, а повороты якорей — вращением шпинделя. Число ходов каретки регулируется скоростью вращения приводного двигателя в пределах до 200 двойных ходов в минуту.

Привод станка осуществляется от электродвигателя *1* через червячный редуктор *2*, фрикционную муфту *3* и клиноременную

передачу. Включение производится педалью *5*, связанной тягой *4* с муфтой. Возвратно-поступательные движения каретке сообщаются кривошипом *6* через шатун *7* и рычаг *8*. Повороты на угол скоса пазов якоря получают от шпинделя *11*, на наружной поверхности которого сделана спиральная канавка. Она соединена с пальцем *10*, закрепленным в шестерне *28*. При поступательном

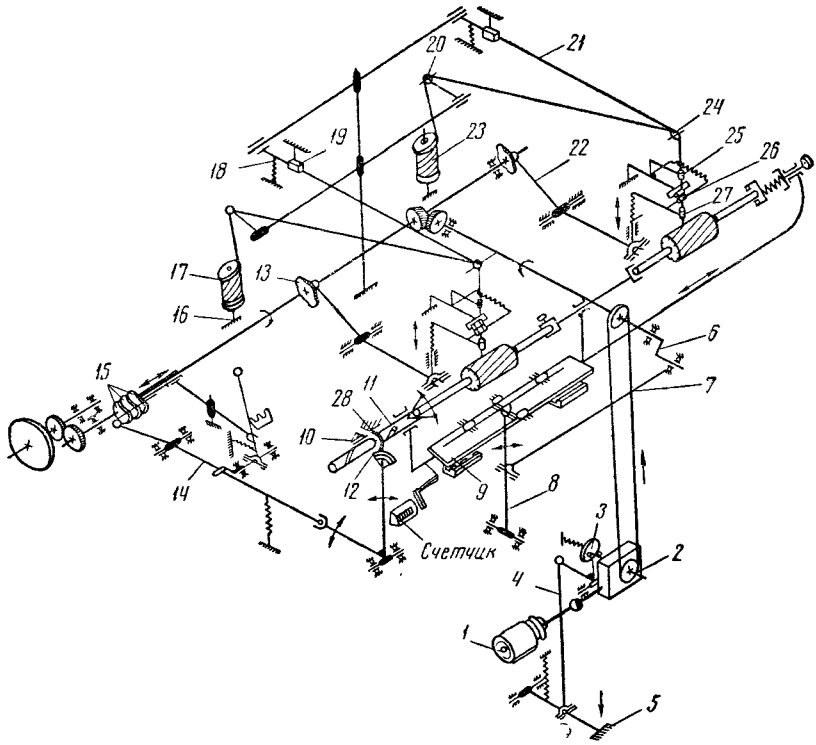


Рис. 131. Кинематическая схема обмоточного станка для якорей

движении каретки шестерня неподвижна и шпиндель поворачивается относительно нее на угол скоса паза.

При намотке якорей с прямым пазом канавка в шпинделе должна быть направлена по образующей цилиндра. Шпиндель поворачивается на величину шага обмотки в крайних положениях каретки вследствие вращения шестерни сектором *12*, который получает импульсные движения от блока кулачков *15* через рычаг *14*. На рисунке показан блок *15*, состоящий из трех кулачков, требующийся для обмотки ротора с концентрической обмоткой при числе катушек в катушечной группе, равном трем. Для об-

моток с постоянным шагом катушек нужен только один кулачок.

В крайних положениях каретки иглы *27* опускаются, вводя провод в паз. При повороте якоря на величину шага образуются лобовые части витков, после чего иглы поднимаются, а каретка движется в обратном направлении. Опускание игл осуществляется кулачками *13* и рычагами *22*, а подъем — пружинами. Стопорные механизмы *26*, состоящие из двух роликов, сжимаемых пружинами, служат для того, чтобы провод не мог быть захвачен иглой при ее подъемах, а также для создания натяжения провода. Над роликами установлены направляющие втулки *25*. Рычаги *21*, служащие опорами для роликов *24*, имеют упругую подвеску на пружинах *18* для предохранения от обрывов провода при намотке. Упоры *19* ограничивают подъем рычагов *21*.

Станок является универсальным, приспособленным для обмотки роторов и якорей микродвигателей с прямыми и скошенными пазами, с различными схемами обмоток как с постоянным шагом, так и концентрических с наименьшим шагом по пазам y_z, равным единице; для диаметра провода в пределах от 0,05 до 0,2 *мм*.

Механизация заготовки клиньев и забивки их в пазы якорей рассматривается в главе XVI.

§ 81. НОВЫЕ ВИДЫ ОБМОТОК ЯКОРЯ

В предыдущем параграфе были освещены вопросы механизации ручных обмоток якоря. Как мы видели, для изолировки пазов и укладки в них обмоток приходится строить сложные полуавтоматические станки, которые тем не менее не в состоянии полностью устранить ручной труд. Так, например, вкладывают выводные концы катушек в коллекторные пластины, проверяют схемы и паяют соединения в этих якорях исключительно вручную. Гораздо большего экономического эффекта можно добиться, перестраивая конструкцию якоря, а иногда и всей машины. В последнее время благодаря достижениям химии намного расширились возможности создания новых конструкций электрических машин. Ниже рассматриваются две новые конструкции якорей электрических машин малой мощности: *беспазового* и *с печатной обмоткой*.

В связи с разработкой эпоксидных смол, обладающих после затвердевания большой механической прочностью, стало возможным не вкладывать провода обмотки в пазы, а приклеивать их к гладкой поверхности цилиндрического якоря. На рис. 132 схематически показано устройство такого якоря. На вал *1* набраны листы *2* якоря без пазов. К ним при помощи эпоксидного клея *4*

приклеены провода *5* обмотки якоря. Для повышения механической прочности каждый слой обмотки обернут стеклолентой *3*. Электродвигатель постоянного тока с таким якорем имеет малую инерцию и может с успехом применяться в схемах автоматического регулирования. При этом значительно упрощаются процессы изготовления сердечника якоря и особенно его обмотки.

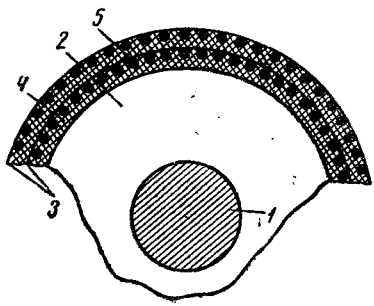


Рис. 132. Обмотка беспазового якоря

Двигатель с беспазовым якорем имеет лучшие характеристики, чем двигатель обычного типа. Он может развивать вращающий момент при пуске, равный 10-кратному номинальному моменту, поэтому валы таких якорей делают усиленными. Электродвигатель с беспазовым якорем выполняют без вентилятора, так как обмотка якоря хорошо охлаждается благодаря хорошим условиям теплоотдачи с поверхности якоря.

Еще большие возможности открывает применение печатных обмоток якоря. В радиотехнике печатные схемы применяют уже давно, заменяя проволочные сопротивления, индуктивности и емкости. В последние годы широкое распространение получают электродвигатели с печатными обмотками якоря. Такие двигатели можно было бы сделать и с цилиндрическим якорем, однако конструкция плоского якоря значительно проще.

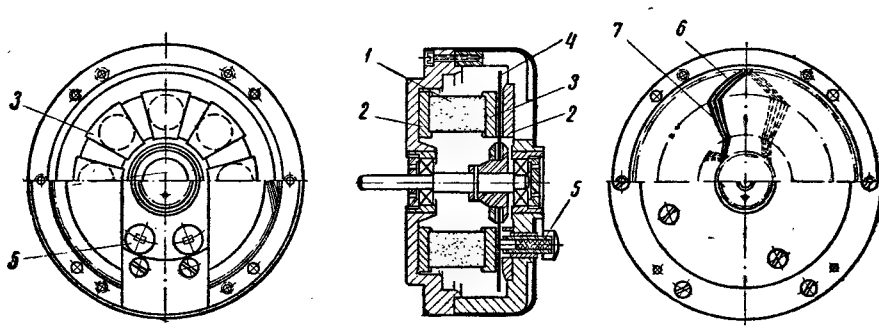


Рис. 133. Электродвигатель с печатной обмоткой якоря

Конструкция такого двигателя показана на рис. 133. Для возбуждения использованы восемь (по числу полюсов двигателя) постоянных магнитов *1*. Они закреплены в стальном кольце *2*; с

другого конца к ним припаяны полюсные наконечники *3* трапецеидальной формы. Все эти детали установлены в левой части алюминиевого корпуса. В правой его части укреплено второе магнитное кольцо *2*. Между этим кольцом и полюсными наконечниками образуется узкая щель, в которой и вращается якорь *4*. Половины корпуса скреплены винтами.

Якорь представляет собой тонкий диск, изготовленный из стеклотекстолита. Обе стороны его покрыты тонкой фольгой, на которой и отпечатаны методом травления провода обмотки. Активные стороны *7* проводов расположены на диске радиально, а лобовые части *6* — наклонно. На рис. 133 сплошными линиями показаны провода на передней стороне диска, пунктиром — провода на обратной его стороне. Они соединяются друг с другом через просверленные в диске отверстия, на стенках которых осаждена медь.

Обмотка якоря волновая. Это дает возможность установить только две щетки *5*, которые контактируют непосредственно с проводами обмотки. Щетки находятся на расстоянии полюсного шага и вставлены в щеткодержатели. Толщина фольги 0,03—0,2 *мм*, а ширина проводов изменяется от 0,5 до нескольких миллиметров. Расстояние между проводами 0,15—0,2 *мм*. Диск якоря закреплен на втулке, надетой на вал и заштифтованной на нем. Вал вращается в шарикоподшипниках.

Якорь с печатной обмоткой имеет следующие преимущества перед якорем обычной конструкции:

упрощается технология изготовления якоря;

якорь имеет ничтожную инерцию и поэтому быстро разгоняется;

обмотка якоря почти не обладает индуктивностью;

благодаря большому числу пластин коллектора обеспечивается хорошая коммутация;

хорошее охлаждение обмотки допускает большие плотности тока (до 40 $а/мм^2$);

якоря с печатной обмоткой в 7—8 раз легче обычных.

Благодаря указанным преимуществам электродвигатели с печатной обмоткой якоря применяют в быстродействующих следящих системах, устройствах автоматики и в различных приборах.

Самой сложной операцией изготовления двигателя с печатной обмоткой является получение надежной обмотки, не отслаивающейся от диска и стойкой против изнашивания ее щетками. Существует несколько способов получения печатной обмотки (травление фольги, электрохимический и др.).

ГЛАВА XIII

ОБМОТКИ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

§ 82. КОНСТРУКЦИИ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Для выполнения намеченного плана увеличения производства электроэнергии в нашей стране потребуется довести ежегодный ввод мощностей до 25 млн. *квт*, а мощности отдельных агрегатов — до 300, 500 и более тыс. *квт*.

Электрическая энергия вырабатывается на тепловых и гидростанциях. На тепловых станциях установлены агрегаты, состоящие из паровой турбины и турбогенератора, а на гидростанциях — из гидротурбины и гидрогенератора.

Турбогенератор представляет собой синхронную машину с неявно выраженными полюсами. Для лучшего использования энергии пара и снижения веса турбоагрегаты строят на наибольшую скорость вращения и наибольшую мощность в одном агрегате. При частоте 50 *гц* наибольшая скорость вращения двухполюсного синхронного генератора составляет 3000 *об/мин*. Наибольшая мощность турбогенератора определяется способами охлаждения.

Турбогенераторы мощностью до 25 тыс. *квт* выполняют с воздушным охлаждением. Если бы они забирали воздух из помещения станции, то вентиляционные каналы засорились бы пылью, взвешенной в воздухе, так как для охлаждения генератора надо прогонять через него несколько кубических метров воздуха в секунду. Чтобы избежать засорения генераторов, их выполняют с замкнутой системой вентиляции. Нагретый воздух попадает в охладители, где он проходит между ребристыми трубами, в которых циркулирует вода, а затем снова поступает в вентиляционные каналы генератора. Таким образом, через генератор все время циркулирует один и тот же объем воздуха.

С увеличением мощности электрических машин растут потери, а следовательно, и нагрев активных частей. Между тем на-

гревостойкость изоляции не допускает повышения температуры обмоток выше определенного для данного класса изоляции предела. Поэтому приходится с ростом мощности повышать эффективность охлаждения машины. Это особенно важно для турбогенераторов, так как они имеют значительно меньшие размеры, чем гидрогенераторы такой же мощности.

Турбогенераторы большой мощности невыгодно строить с воздушным охлаждением, так как при окружной скорости ротора около 150 *м/сек* много энергии затрачивается на трение его поверхности о воздух, вследствие чего снижается к. п. д. генерато-

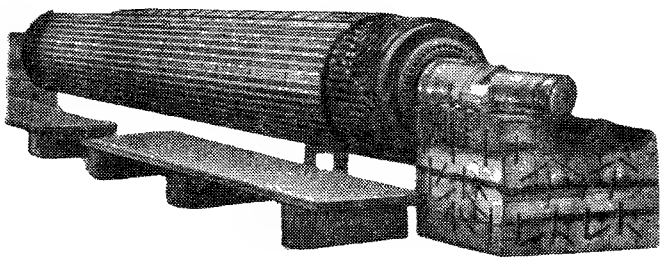


Рис. 134. Ротор турбогенератора в стадии обмотки

ра. Для снижения потерь на трение в турбогенераторах мощностью 50 и 100 тыс. *квт* циркулирует водород, который имеет значительно меньшую плотность по сравнению с воздухом. Благодаря этому примерно в 10 раз снижаются потери на трение, улучшается охлаждение генератора и повышается срок службы изоляции. Наружная оболочка таких генераторов должна быть газоплотной, а выступающий конец вала пропускается через специальное уплотнение для защиты от утечки водорода. Чтобы предохранить генератор от образования внутри него взрывчатой смеси водорода с кислородом воздуха, в нем поддерживается избыточное давление в результате подпитки водородом из баллонов.

Роторы турбогенераторов (рис. 134) имеют небольшой диаметр, но очень большую длину, так как при вращении возникают большие напряжения от центробежных сил. Поэтому нельзя сделать диаметр ротора больше 1150 *мм*. Для получения необходимого объема активной части генератора приходится увеличивать длину ротора до 6 *м* и более.

В отличие от остальных электрических машин у турбогенератора ротор откован из высокопрочной легированной стали; в нем профрезерованы пазы для укладки обмотки. Пазы расположены

неравномерно по окружности ротора. В двух противоположных зонах остаются так называемые большие зубцы (см. рис. 144), являющиеся серединами двух полюсов. Обмотка ротора представляет собой уложенные в пазы катушки, которые концентрически охватывают сердечники полюсов (см. рис. 145). Ток к обмотке ротора подводится от специальной машины постоянного тока (возбудителя) через контактные кольца и щетки.

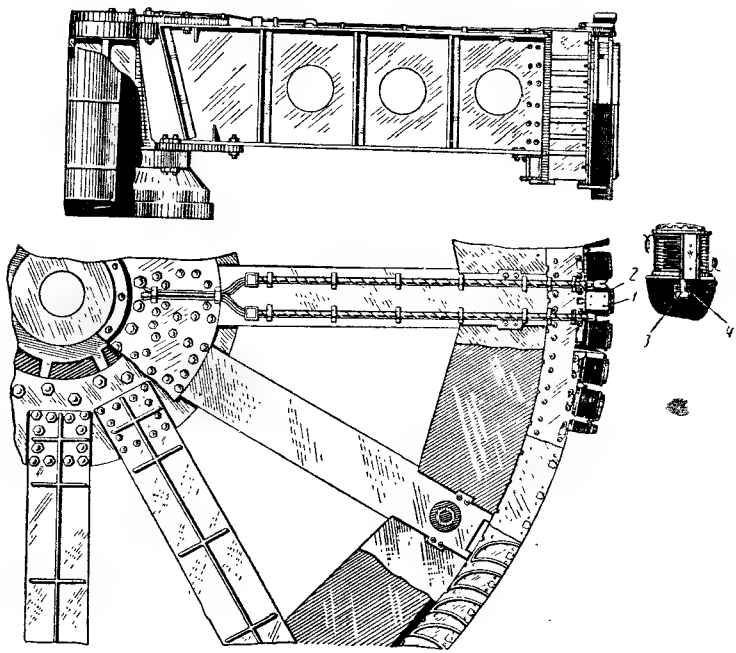


Рис. 135. Ротор гидрогенератора

Статор турбогенератора (см. рис. 137) неразъемный и состоит из сварного корпуса, в котором запрессован сердечник, собранный из листов электротехнической стали толщиной 0,5 или 0,35 *мм*. В пазы статора вложены стержни обмотки трехфазного тока, в которой индуцируется высокое напряжение (13,8 или 15,75 *кв*).

Гидрогенератор представляет собой синхронный генератор с явно выраженными полюсами и числом оборотов, например, 68,2; 62,5 *об/мин*. По формуле (15) число полюсов соответственно будет 88 и 96. На рис. 135 показан ротор гидрогенератора с укрепленными на нем полюсами *1* с катушками возбуждения *2*. Полюса имеют хвостовики *3*, которые укреплены клиньями *4*.

Размеры электрических машин растут с уменьшением скорости вращения. Поэтому диаметр ротора достигает в мощных гидрогенераторах 14 *м* и более. Такой ротор нельзя перевезти по железной дороге и поэтому его отправляют на место монтажа в разобранном виде. Почти все гидрогенераторы являются машинами вертикального типа, непосредственно соединенными с гидротурбинами.

Статор гидрогенератора по условиям транспортировки также делают разъемным, обычно на шесть частей. Отдельные части обматывают на заводе (см. рис. 140) и отправляют на гидростанцию. Там их собирают, и вкладывают стержни обмотки в те пазы, которые попадают в зону стыков.

§ 83. ОБМОТКИ СТАТОРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Обмотки статоров турбогенераторов небольшой мощности (до 6000 *квт*) выполняют из жестких катушек, подобных описанным в § 23. Ввиду того что вставить жесткую катушку в два противоположных паза статора очень трудно, в обмотках двухполюсных машин делают большое укорочение шага (до 0,6 от диаметрального).

Турбогенераторы бо́льших мощностей (до 100 тыс. *квт*) имеют стержневые обмотки. Изготовление стержней подробно описано в § 26.

При проектировании турбогенераторов мощностью 200 тыс. *квт* и более для улучшения охлаждения пришлось прибегнуть к непосредственному охлаждению обмоток статора, пропуская через каналы в пазах водород, дистиллированную воду или масло.

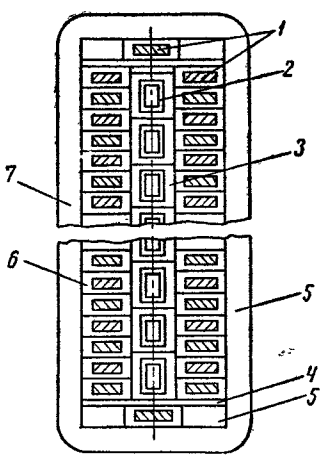


Рис. 136. Поперечное сечение стержня обмотки статора с непосредственным охлаждением

На рис. 136 показано поперечное сечение стержня обмотки статора турбогенератора ТГВ-200 мощностью 200 тыс. *квт* с непосредственным охлаждением водородом под давлением 3 *ати*. Стержень состоит из переплетенных элементарных проводов *1* марки ПСД или ПДА. В середине паза вставлены коробки *2* прямоугольного сечения из нержавеющей стали, изолированные стеклянной лентой *3* толщиной 0,1 *мм* вполнахлеста с промазкой глифталемасляным лаком.

Для предохранения коробок от попадания лака и компаунда, а также от деформаций при прессовке их набивают мелким су-

хим песком, а концы сплющивают и запаивают серебряным припоем. Места переходов плетеной части стержня изолируют прокладками *4* из микаленты и выравнивают асбестовой замазкой *5*. Пазовую часть стержня промазывают лаком и просушивают на воздухе.

Стержни подвергают горячей прессовке под гидравлическим прессом, проверяя сечение пазовой части калибром. После прессовки проверяют стержни на замыкание между проводами и проводов на коробки. Лобовые части выгибают по эвольвенте на металлическом горбыле и проверяют их размеры на макете статора. Концы проводов лудят серебряным припоем.

Витковую *6* и корпусную *7* изоляцию стержня подвергают компаундированию, в процессе которого происходит не только пропитка, но и гидростатическая опрессовка изоляции. Стержни, оплетенные киперной лентой, устанавливают на ячейки специальной рамы и укрепляют струбцинами во избежание деформаций при компаундировании.

Стержни изолируют микалентой, каждый слой которой должен быть плотно затянут и промазан лаком. Для этой цели служит специальный изолировочный станок. Микаленту наносят в два этапа, сначала одиннадцать слоев, а затем остальные слои до размеров сечения по чертежу.

Полностью изолированный стержень очищают от наплывов битума, и подрезают на конус изоляцию на концах стержня. Пазовую и половину лобовой частей изолируют асбестовой лентой, а остальные части — стеклянной лентой. Пазовую и лобовые части покрывают полупроводящими лаками во избежание короны. Вентиляционные коробки после обрезки запаянных концов и высыпания песка проверяют на гидравлическое сопротивление. Готовые стержни испытывают на пробой корпусной изоляции, на коронирование и на диэлектрические потери.

Для предохранения от механических повреждений стержни перевозят на специальных приспособлениях. Расстояние между опорными стойками должно быть не более 1 *м*. Укладывают на стойки не более четырех рядов стержней. При длительном хранении стержни обертывают кабельной бумагой, закрепляя ее киперной лентой.

Укладка в пазы статора стержневых обмоток является очень ответственной операцией, от которой в значительной степени зависит надежность работы генератора в эксплуатации. Участок обмотки должен быть отгорожен от смежных механических цехов для предохранения от попадания на стержни при укладке их металлических стружек, пыли, грязи и др. Стержни обмоток до укладки надо хранить на специальных козлах в упаковке.

Особенность укладки в пазы стержневых обмоток турбогенераторов заключается в том, что приходится иметь дело со стержнями весом до 120 *кг* и длиной до 8 *м*. В процессе укладки об-

мотчикам приходится работать внутри расточки статора диаметром 1200 *мм* и длиной до 6 *м* (рис. 137). Лобовые части обмотки должны быть покрыты резиновыми ковриками во избежание повреждения изоляции, а нижняя часть расточки должна быть покрыта картоном или плотной бумагой.

Перед укладкой стержней тщательно проверяют пазы статора на отсутствие заусенцев, выступов и посторонних предметов. Стержни вводят в расточку статора по наклонным подмосткам. В процессе укладки стержень должен войти в паз во всей длине

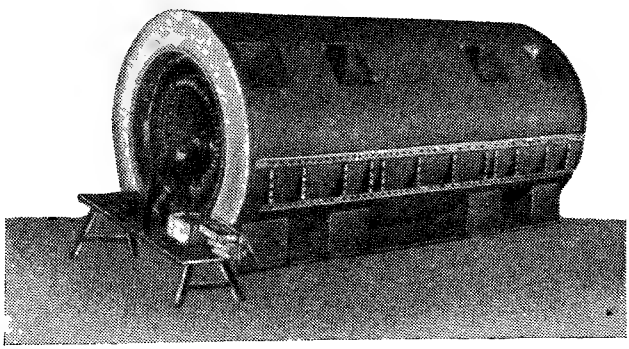


Рис. 137. Статор турбогенератора в процессе укладки обмотки в пазы

без перекосов и перегибов. Допускается рихтовка стержней в горячем виде после нагрева их до температуры 85—95° С электрическим током. Пазовую часть осаживают на дно паза равномерно по всей длине ударами молотка через осадочную доску.

Сравнительно легко закладывать стержни обмотки в нижние пазы, труднее — в боковые пазы и особенно сложно заводить стержень в верхние пазы, находящиеся над головой. Чтобы облегчить эту работу, применяют приспособление для поворачивания статоров турбогенераторов мощностью 100 и 150 тыс. *квт*. Четыре стойки *1* с роликами *2* смонтированы попарно на двух сварных балках *3* (рис. 138). На эти ролики устанавливают корпус *6* статора. Нижнюю часть корпуса помещают в кювет глубиной около одного метра, при этом нижняя точка расточки статора возвышается над уровнем пола на 1 *м*.

Один из роликов является ведущим и приводится во вращение электродвигателем *5* через редуктор *4*. Вращение ведущему ролику от электродвигателя передается через червячный редуктор на конических роликоподшипниках. Ввиду того что станина имеет лапы и колодцы под газоохладители, расположенные с одной стороны, несимметрично относительно горизонтальной оси,

корпус статора стремится повернуться. При большом смещении центра тяжести возможна пробуксовка статора по роликам. Для устранения этого к корпусу прикрепляют уравновешивающие грузы весом около 3,5 *т*.

На нажимном кольце статора устанавливают кронштейны *1* (рис. 139) и закрепляют их болтами. Одновременно устанавли-

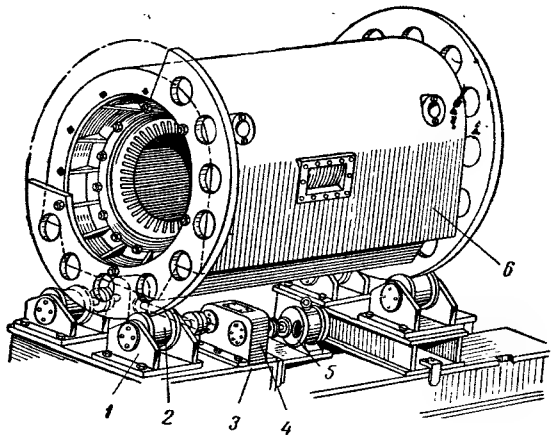


Рис. 138. Приспособление для поворачивания статора турбогенератора

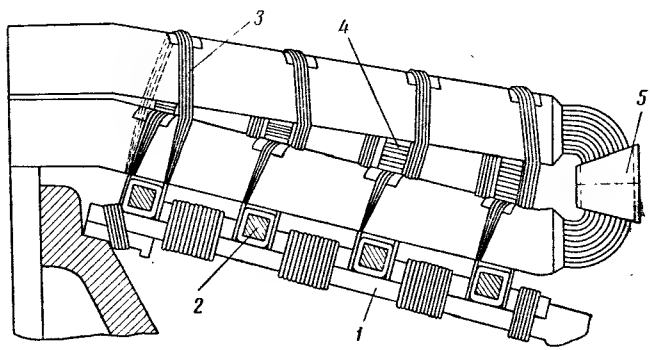


Рис. 139. Крепление лобовых частей обмотки статора

вают шинодержатели для соединений между катушечными группами. Первое бандажное кольцо *2* закрепляют струбцинами со стороны торца статора. В местах прилегания струбцин к бандажному кольцу прокладывают картон толщиной 0,5 *мм*. После установки бандажного кольца проверяют шаблоном положение кольца от торца и расточки статора. В случае необходимости регулировки этих размеров подтягивают гайки струбцин. Подго-

няют прокладки из пропитанного электрокартона между кольцом и кронштейном до плотного прилегания кольца ко всем кронштейнам. Аналогично устанавливают остальные бандажные кольца. Дистанционные прокладки привязывают к кронштейнам крученым шнуром. На дно отмеченных пазов и между слоями обмотки устанавливают термометры сопротивления.

В местах выхода из паза к боковым сторонам стержней привязывают дистанционные распорки. Стержни подогревают до температуры 85—95° С на поверхности изоляции, пропуская электрический ток. При нагревании плотность тока не должна превышать 4,5 *а/мм*^{2}. Стержень вгоняют в паз ударами молотка через подкладочную подушку из полосок картона, обвязанных киперной лентой. Головку стержня устанавливают против соответствующего паза или зубца согласно схеме.

Пазовую часть стержня осаживают на дно паза равномерно по всей длине ударами молотка через осадочную доску. Поверх уложенного стержня кладут прокладку из пропитанного электрокартона и забивают в паз средние и крайние деревянные клинья (расстояние между ними около 1 *м*). Лобовые части осаживают на бандажное кольцо ударами молотка через подкладочную подушку. К бандажным кольцам привязывают упоры и домкратом прижимают к ним лобовую часть стержня, проложив между домкратом и стержнем деревянные прокладки. Лобовую часть стержня привязывают к каждому бандажному кольцу крученым шнуром *3*.

После привязки лобовой части первого стержня убирают домкраты и упоры и вкладывают в паз второй нагретый стержень. Лобовую часть этого стержня формуют домкратами, подтягивают ее к первому стержню и бандажируют лобовые части обоих стержней через промежуточные распорки крученым шнуром. Остальные стержни укладывают аналогично двум первым. После укладки всех нижних стержней заклинивают дистационные распорки, привязанные к стержням в месте выхода из паза, конусными гетинаксовыми клиньями.

Изоляцию уложенных стержней испытывают на пробой группами по нескольку стержней. Во время испытания между головками стержней прокладывают миканитовые листы толщиной до 6 *мм* (в зависимости от номинального напряжения машины). В соответствии с требованиями техники безопасности испытанную группу, а также корпус статора перед испытанием следующей группы заземляют.

Из полосок пропитанного электрокартона собирают кольца *4*, и скрепляют их киперной лентой. На головки нижних стержней по мере укладки стержней верхнего ряда надевают хомутики *5*. Перед укладкой верхнего стержня выбивают временные деревянные клинья. В пазы вкладывают прокладки из пропитанного электрокартона. Верхние стержни осаживают в пазы ударами молот-

ка через осадочную доску, одновременно пригоняя головки стержней под хомутики. После укладки верхних стержней заклинивают пазы временными деревянными клиньями, распределяя их через 1 *м* по длине статора.

Стыки головок стержней плотно пригоняют при помощи струбцины. Лопаткой заводят провода головок в хомутики *5* и забивают между ними медную луженую контактную пластину. Лобовые части стержней привязывают к бандажному кольцу. После окончания укладки стержней заклинивают распорки, привязанные к прямой части стержней, гетинаксовыми клиньями, которые привязывают к распоркам.

Испытывают изоляцию обмотки на пробой по отношению к корпусу по полуфазам, прокладывая между головками стержней смежных полуфаз миканитовые листы. Затем выбивают из пазов временные клинья, вкладывают прокладки из пропитанного электрокартона и забивают в пазы постоянные клинья. Клинья устанавливают от середины статора к краям ударами пневматического молотка, следя за тем, чтобы прорези клиньев располагались против вентиляционных каналов сердечника статора. При внешнем осмотре проверяют отсутствие повреждений изоляции лобовых частей, тщательно продувают расточку статора и лобовые части сухим сжатым воздухом. Лобовые части обмотки и соединительные шины покрывают лаком из пульверизатора и просушивают на воздухе, а затем дважды покрывают эмалью вместе с внутренней поверхностью статора.

§ 84. ОБМОТКИ СТАТОРОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Стержневая обмотка статора гидрогенератора технологически проще обмотки турбогенератора. Стержни ее имеют значительно меньшие размеры, а лобовые части — значительно меньшую кривизну, что упрощает формовку, прессовку и изолировку стержней. Стержневые обмотки гидрогенераторов обычно выполняют волновыми.

Укладка стержней гидрогенераторов проще, чем турбогенераторов. После сборки сердечника статора его снова разбирают на отдельные составные части (шестерки) и раскладывают их по полу (рис. 140). Вес стержней статора гидрогенератора в несколько раз меньше веса стержней турбогенератора, и они вкладываются в пазы в более удобном для обмотчика положении. К каждой «шестерке» статора возможен доступ со всех сторон, что позволяет шести обмотчикам укладывать несколько стержней одновременно. Перед укладкой в пазы стержни нагревают в термостатах до температуры 85—95° С. Трудоемкость укладки обмотки объясняется большим количеством пазов. В шестерке отдельных гидрогенераторов число пазов достигает 100 и более. Для уско-

рения процесса укладки и устранения ошибок при размещении стержней в пазах статор перед укладкой размечают мелом.

Стержни обмотки разделяют на основные, с прямыми головками (для присоединения перемычек) и с отогнутыми головками (для соединения с выводными шинами). На торцах гребенки статора условными цифрами обозначают номера типов стержней и стрелками направление отводов к выводным шинам. Пазы, в которые стержни вкладываются при монтаже, отмечают кружками. Эти пазы забивают досками для предохранения зубцов от повреждений при транспортировке.

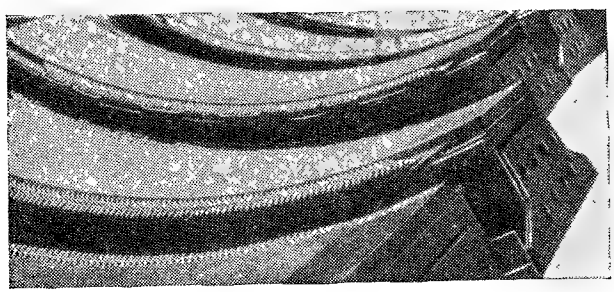


Рис. 140. Статор гидрогенератора в процессе укладки обмотки

Укладку стержней в пазы и рихтовку лобовых частей производят аналогично укладке стержней турбогенераторов. В отмеченные пазы вкладывают термометры сопротивления, и выводы от них подводят к дощечке зажимов. Стержни верхнего ряда одновременно с укладкой в пазы вставляют головками в хомутики, так как при небольшой длине лобовой части после укладки в пазы вставить головку в хомутик невозможно.

Окончив укладку обмотки, с помощью лопатки и молотка разделяют провода верхнего стержня в хомутике и для увеличения контактной поверхности вбивают между ними пластину, которая должна располагаться равномерно в головках обоих стержней. Стыки стержней проверяют через контрольное отверстие в хомутике.

При установке пазовых клиньев надо следить за тем, чтобы скос клина совпадал с направлением вращения ротора, полюса которого служат вентиляторами. Лобовые части обмотки и поверхность сердечника статора покрывают лаком, а затем глифталево-масляной эмалью.

§ 85. ОБМОТКИ РОТОРОВ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Роторные обмотки турбогенераторов имеют коренные отличия от катушечных обмоток статора как по конструкции, так и по технологии. Это обмотки однослойные, так как каждая сторона катушки занимает весь паз. Катушки наматываются из голого медного провода на ребро.

В двухслойных обмотках радиальное расположение пазовых частей достигается выгибанием лобовых частей (см. рис. 56) в процессе растяжки и рихтовки. Лобовые части роторной обмот-

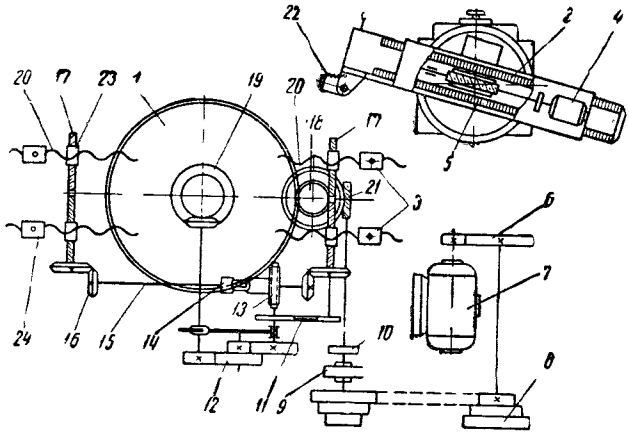


Рис. 141. Кинематическая схема станка для намотки катушек обмотки ротора

ки турбогенератора являются дугами окружности и поэтому у каждой катушки ширина витков различна — меньшая к центру и большая к наружной поверхности ротора. Это заставляет применять для намотки турбороторных обмоток специальные намоточные станки. Как по размерам витка, развернутая длина которого достигает 15 *м*, так и по условиям переменной ширины витков такие катушки нельзя наматывать на массивный шаблон, так как он имел бы огромный вес. Поэтому намотку катушек ведут на четыре стойки, расположенные в углах прямоугольной катушки. Расстояние между стойками можно изменять только по ширине (при намотке одной катушки) или по ширине и по длине при переходе на намотку различных катушек, концентрически охватывающих одна другую.

На рис. 141 показана кинематическая схема намоточного станка завода «Электросила». Станок состоит из двух независимых узлов: вращающегося стола *1* и поворотного хобота *2*. В процессе намотки хобот удлиняется и укорачивается при по-

мощи реечного механизма *5*, приводимого в движение электродвигателем *4*. Одновременно он совершает колебательные движения вокруг своей оси, чтобы шина, которая идет с бухты через смоточное устройство, укрепленное на стойке поворотного хобота, при изгибах была направлена по касательной к закруглению. На конце хобота укреплено приспособление *22* для снятия с меди утолщений, образующихся в местах изгибов.

Стол *1* приводится во вращение электродвигателем *7* через зубчатую пару *6*, ступенчатые шкивы *8* ременной передачи, электромуфту *9* и червячные передачи *21* и *18*. Электромагнитный тормоз *10* останавливает стол при отключении привода.

Механизм сдвигания стоек *3* по ширине витка приводится от конической пары *19* и передается на гитару *12*, сменными шестернями которой можно настроить механизм на требуемую величину перемещения стоек. Гитара через червячную пару *13* и муфту *14* вращает шестерни *16* на валу *15*, сцепленные с коническими шестернями на концах ходовых винтов *17* с правой и левой резьбой. Вращение винтов сообщает поступательное движение гайкам *23*, которые и передвигают стойки *3*. Для быстрого перемещения стоек при настройке станка пользуются цепной передачей *11*, соединяющей гитару непосредственно с ходовыми винтами *17*.

Намотку катушки начинают с верхнего, самого широкого витка. Когда одна бухта меди кончается, конец ее сваривают с началом другой, зачищают место сварки и продолжают намотку. Раздвигание стоек *3* по длине витка производится винтами *20* с гайками *24*.

Для изолировки катушки подвешивают на крюках, укрепленных на стойке, сваренной из труб. Катушки кладут на стойки верхними широкими витками вниз. Расстояние между крюками не должно быть более 800 *мм*. Перед изолировкой осматривают все витки катушки и проверяют отсутствие заусенцев и каких-либо повреждений поверхности.

Каждый виток катушки протирают тряпкой, смоченной уайт-спиритом. На первый виток накладывают кистью слой кремний-органического лака, сверху и снизу кладут полоски миканита и обматывают виток стекломикалентой вполнахлеста. После каждых двух-трех оборотов ленту подтягивают рукой.

Затем наносят лак на второй виток и накладывают на него полоски прокладочного нагревостойкого миканита. После этого кладут второй ряд полосок миканита, располагая их так, чтобы стыки в первом и втором слоях отстояли друг от друга не менее чем на 50 *мм*. Изолируют виток с полосками миканита липкой стеклолентой. На углах витков ставят фасонные миканитовые прокладки. Таким образом изолируют все витки, кроме последнего, опуская каждый изолированный виток на верстак. Пос-

ледний виток промазывают лаком и изолируют стеклослюдолентой вполнахлеста.

Окончив изолировку, развешивают витки катушки на крюках, покрывают их лаком со всех сторон, не допуская наплывов лака. На среднем и нижнем витках устанавливают два контрольных термометра, укрепляя их липкой лентой, поверх которой наматывают пять-шесть слоев асбестовой ленты для уменьшения теплоотдачи. Концы катушки соединяют с зажимами генератора постоянного тока на 2000 *а* и напряжением 36 *в*. Нагревают катушку током до температуры 190—200° С и сушат витковую изоляцию при этой температуре в течение 5 час. Затем отключают ток и охлаждают катушку до температуры окружающего воздуха. После сушки витки катушки присыпают тальком, снимают катушку с крюков, кладут на изолировочный верстак и завертывают ее в бумагу.

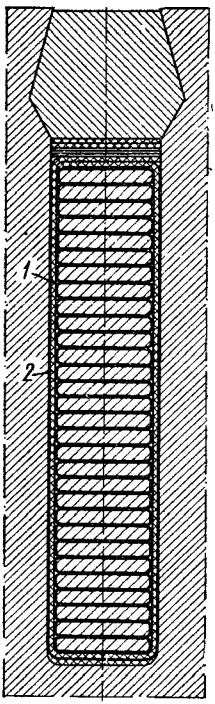


Рис. 142. Разрез паза ротора турбогенератора

Корпусная изоляция роторных катушек турбогенераторов состоит из миканитовых U-образных коробок *1* (рис. 142), которые заранее заготовляют на изоляционном участке обмоточного цеха. На рычажных ножницах нарезают требуемое число полосок формовочного миканита шириной, равной периметру коробки с припуском 20 *мм*, который срезают после ее формовки. Одновременно нарезают полоски парафинированной бумаги такой же ширины и длиной, равной длине коробки с припуском 30 *мм*. Этими полосками выкладывают оправку и стенки пресс-формы для предохранения их от прилипания миканита. Для получения требуемой длины коробки полоски миканита укладывают так, чтобы стыки в соседних слоях отстояли один от другого не менее чем на 50 *мм*. Прилегающие друг к другу полоски миканита промазывают лаком, кроме наружных сторон нижней и верхней полоски. Собранную заготовку сушат на плите при температуре 80—90° С в течение 20—30 мин.

На подсушенную заготовку коробки кладут плашмя деревянную оправку и загибают на нее свободный край заготовки. Устанавливают стальную пресс-форму *8* в гнездо гидравлического пресса *1* (рис. 143). Над пресс-формой подвешивают на блоках стальную оправку *6* и натирают ее парафином. На нижнюю и боковые стороны оправки накладывают три слоя парафинированной бумаги и закрепляют ее лентой. Коробку *4* также обертывают тремя слоями парафинированной бумаги. Затем выни-

мают деревянную оправку, надевают миканитовую коробку на оправку *6* и опускают ее в пресс-форму, снимая с оправки ленту.

Прессовку коробки выполняют следующим образом. Включают паровой обогрев плиты *7* и зажимают коробку цилиндром *2* через откидной рычаг *3* и планку *5*, дав давление на оправку 10—15 *ат*. Затем дают боковое давление цилиндром *9*. Прогревают коробку под давлением до температуры 120° С и выпекают при этой температуре в течение 1,5 час. Затем отключают боковой обогрев и пропускают через плиту *7* холодную воду, охлаждая коробку до комнатной температуры. Снимают давление, поднимают металлическую оправку и вынимают пазовую коробку из пресс-формы.

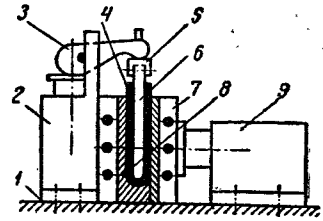


Рис. 143. Прессовка коробки роторного паза

Для механической защиты от повреждений на миканитовую коробку надевают металлическую гильзу *2* (рис. 142). Внутреннюю поверхность гильзы покрывают глифталевым лаком и просушивают на воздухе. На непокрытые металлической гильзой концы миканитовой коробки накладывают формовочный миканит, промазав его лаком. Если металлическая гильза состоит из нескольких частей, то зазор между ними должен быть не более 1,5 *мм*.

Перед второй прессовкой на металлическую оправку и наружную поверхность гильзы накладывают три слоя парафинированной бумаги и опускают коробку с оправкой и надетой гильзой в пресс-форму. Включают паровой обогрев и зажимают коробку, дав сначала верхнее, а затем боковое давление 10—12 *ат*. Коробку прогревают при температуре 80—100° С, после чего ее прессуют под давлением 10 *кГ/см²*. Затем отключают боковой обогрев и пропускают через плиты пресса холодную воду, охлаждая коробку до комнатной температуры.

После второй прессовки поднимают металлическую оправку и вынимают коробку из пресс-формы, осторожно снимая с нее парафинированную бумагу. Затем вкладывают в миканитовую коробку деревянную оправку и срезают ножом припуски, а края зачищают стеклянной бумагой. После испытания на пробой оклеивают края коробки пропитанной хлопчатобумажной тканью, сушат на воздухе до прекращения отлипа и очищают от натеков лака. Монолитность коробки и качество прессовки проверяют простукиванием.

Обмотки ротора укладывают в пазы на специальном приспособлении (рис. 144), состоящем из двух тумб. Над тумбами устанавливают раму из швеллеров и угольников для укладки катушек обмотки. Ротор кладут шейками вала в полукруглые гнез-

да тумб. По обеим сторонам сердечника ротора выкладывают опалубку из досок, поверх них картон толщиной 1—2 *мм* и закрепляют киперной лентой. Опалубка служит временной опорой для лобовых частей катушек в процессе прессовки.

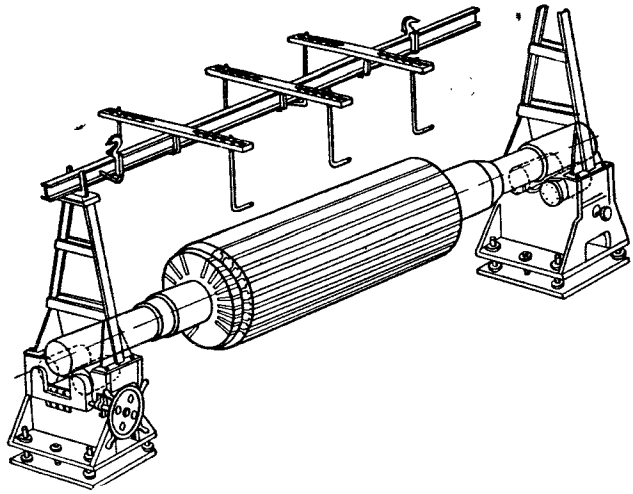


Рис. 144. Приспособление для укладки обмотки ротора турбогенератора

В пазы, занимаемые первой катушкой, вкладывают пазовые коробки, пользуясь осадочной доской, вставленной внутрь коробки. На дно коробки кладут изоляционные прокладки. Катушку роторной обмотки освобождают от упаковочного материала, про-

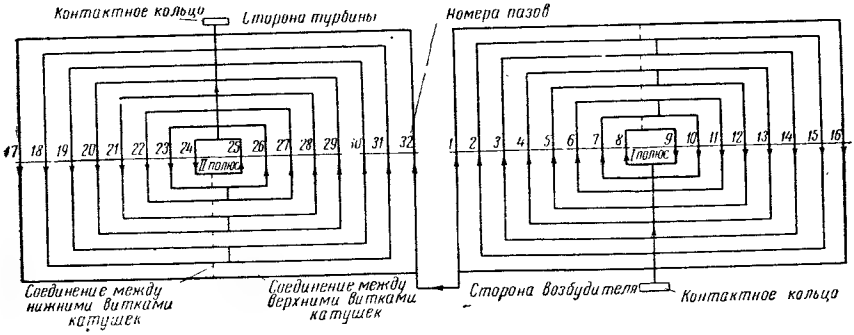


Рис. 145. Схема обмотки ротора турбогенератора

дувают сжатым воздухом и подвешивают витки катушки на крючья рамы. Затем опускают витки по одному в пазы по схеме, показанной на рис. 145, выравнивая пазовую часть ударами

молотка через буковую осадочную доску. После укладки четырех-пяти витков забивают вместо пазовых клиньев деревянные планки и заклинивают витки деревянными встречными клиньями. Аналогично укладывают в пазы остальные катушки.

В турбогенераторах с поверхностным охлаждением ротора обмотки нагревают в пазах пропусканием через них тока и прессуют, надевая на ротор прессующие кольца с ввернутыми в них болтами. В роторах с непосредственным охлаждением проводов к виткам пазовой части приклеивают прокладки из стеклотекстолита, вследствие чего отпадают операции прессовки и запечки пазовой части катушек.

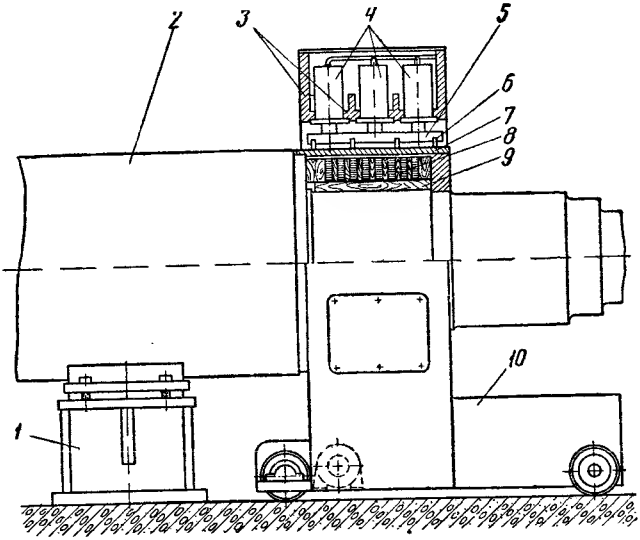
Выступающие из пазов края миканитовых коробок срезают в соответствии с размерами, указанными на чертеже. Для загиба коробок без излома края их нагревают стальной полосой, через которую пропускают ток. Пазы заклинивают парными конусными клиньями, начиная с наружных катушек. В каждый паз по длине ротора при помощи пневматического молотка забивают несколько клиньев.

Лобовые части обмотки ротора раньше также прессовали вручную при помощи колец с болтами. Однако этот способ имел недостатки, в частности нельзя было контролировать усилия отдельных болтов, не достигалась равномерная прессовка, размягчение склеивающих лаков при нагреве вызывало ослабление болтов и их приходилось подтягивать. Кроме того, ручная прессовка занимала много времени и требовала затраты больших усилий. Ввиду этого перешли на прессовку лобовых частей с помощью кольцевых гидравлических прессов.

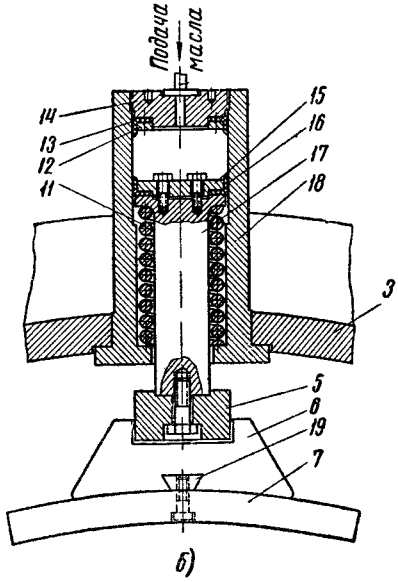
На рис. 146, *а* показан общий вид установки для прессовки, разработанной на заводе «Электросила». До начала укладки обмотки под ротор подводят люнеты *1*, которые стоят вдоль рельсового пути. Когда укладка обмотки окончена, гидравлические подъемные механизмы люнетов поднимают ротор, опираясь в бочку ротора *2*. Тумбы, на которых лежали шейки вала при обмотке, убирают. По рельсовым путям подводят кольцевые гидравлические прессы, которые имеют привод для передвижения от электродвигателей, установленных в платформах *10*.

В кольце *3* установлено двенадцать групп гидравлических цилиндров *4*, по три цилиндра в группе. В поршни этих цилиндров подается масло. Каждая пара групп цилиндров, расположенных диаметрально противоположно, управляется одним краном, чем исключается возможность смещения ротора во время прессовки. Поршни цилиндров соединены массивной планкой *5*, которая давит на косынки *6*, скрепленные трапецеидальными шпонками *19* с сегментами *7* брони (рис. 146, *б*).

Давление на лобовые части обмотки передается через несколько слоев электрокартона и воспринимается опалубкой *9*, уложенной на шейку ротора (рис. 146, *а*). Между лобовыми час-



а)



б)

Рис. 146. Прессовка лобовых частей обмотки ротора турбогенератора:

а — общий вид установки, *б* — гидравлический цилиндр

тями катушек вставлены деревянные клинья *8,* которые перед второй прессовкой заменяют постоянными. Сегменты брони опираются на заточку бочки ротора *2* и на временное центрирующее кольцо, надетое на шейку ротора.

На рис. 146, *б* видно устройство цилиндра одностороннего действия. Корпус цилиндра *18* врезан в кольцо *3* и закрыт сверху днищем *14,* уплотненным манжетой *13* и кольцом *12.* Пружина *11* служит для поднимания поршней после снятия гидравлического давления. Поршень *17* выточен из одного куска стали со штоком и уплотнен в цилиндре манжетой *16* и диском *15.* Внутренний диаметр кольца *3* рассчитан на ротор наибольшего диаметра. При прессовке роторов разного диаметра заменяют только сегменты *7* брони.

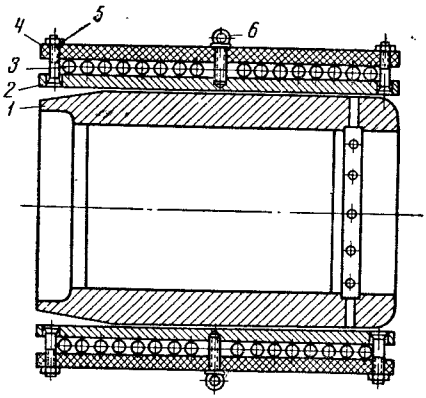


Рис. 147. Индуктор для нагрева бандажного кольца

Для удержания лобовых частей обмотки ротора от деформаций под действием центробежной силы на них напрессовывают массивные бандажные кольца, которые отковывают из немагнитной стали, чтобы через них не замыкался магнитный поток. Для насадки на бочку ротора и на центрирующее кольцо бандажные кольца нагревают до температуры 200—230° С. При нагреве внутренний диаметр бандажного кольца увеличивается на 4—5 *мм,* что позволяет свободно насадить его на ротор. Для равномерного нагрева бандажного кольца пользуются индуктором, питаемым от сети частотой 50 *гц* при напряжении 127 *в* и токе 1200 *а.*

На рис. 147 показан индуктор для нагрева бандажного кольца *1* ротора. Обмотка *3* индуктора представляет собой 24 витка медной трубки диаметром 19 *мм* с толщиной стенки 1,5 *мм,* по которой циркулирует вода из водопровода. Витки обмотки закреплены между четырьмя планками *2* из полосовой латуни и планками *4* из гетинакса, скрепленными винтами *5.* Витки обмотки и латунные планки изолированы асбестовой лентой. Подъемные кольца *6,* расположенные в двух диаметральных точках, служат для надевания индуктора на кольцо. По сравнению с нагревом газовыми горелками при применении индуктора обеспечивается равномерный нагрев и отсутствие деформаций кольца. Кроме того, ускоряется процесс нагрева.

Нагретое бандажное кольцо подвешивают на тросе на крюк крана, подводят его к торцу ротора и быстро надевают на ло-

бовые части обмотки. Кольцо насаживают при помощи винтового приспособления (рис. 148, *а*). Оно состоит из сварной плиты *4* и сухарей *5*, которые упираются в торец бандажного кольца. К противоположному концу вала ротора подводят сварной диск *1*. Плита и диск соединены двумя длинными свернутыми из нескольких частей шпильками *3*, которые идут вдоль всей длины ротора. На рисунке показан вид на ротор сверху. Вращая трещетку домкрата *2*, продвигают бандажное кольцо до упора в заточку ротора. Шпильки должны находиться в натянутом состоянии до остывания кольца.

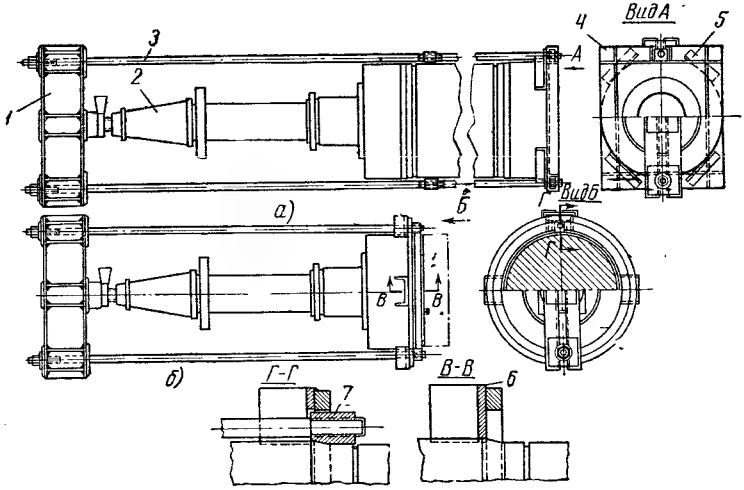


Рис. 148. Приспособление для насадки бандажного кольца:
а — положение приспособления при насадке кольца, *б* — положение приспособления при снятии кольца

Этим же приспособлением можно снять бандажное кольцо. Для этого плиту *4* заменяют кольцом *6*, в котором установлено кольцо *7* с конической заточкой (рис. 148, *б*). Кольцо *7* захватывает бандажное кольцо за конус и усилием домкрата стягивает его с лобовых частей обмотки ротора.

В последнее время для насадки и снятия бандажных колец используют гидравлические домкраты.

Обмотка ротора гидрогенератора (см. рис. 135) состоит из нескольких десятков катушек (см. рис. 52), намотанных на ребро. Технология намотки, прессовки и изолировки полюсных катушек была подробно изложена в § 32. Катушку надевают на полюс, от которого она изолирована миканитом и двумя изоля-

ционными шайбами. В таком виде катушки с полюсами упаковывают и отправляют на место монтажа гидрогенератора.

Хвостовик *3* полюса (см. рис. 135) вдвигают в паз обода ротора и заклинивают с каждой стороны двумя встречными тонкими клиньями *4*, концы которых загибают для предохранения от сдвига при работе машины.

ГЛАВА XIV

ПАЯНИЕ И СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

§ 86. ПРИПОИ МЯГКИЕ И ТВЕРДЫЕ

К соединениям в обмотках предъявляют следующие требования: неокисляемость, низкое переходное сопротивление контакта, виброустойчивость, механическая прочность, нагревостойкость и др. Выбор способа соединения зависит от условий работы машины, класса нагревостойкости изоляции, конструкции мест соединения. Наиболее распространенным способом соединения является паяние мягкими и твердыми припоями.

В машинах старых типов единственным способом соединения было паяние мягкими оловянно-свинцовыми припоями, из которых чаще всего применялся так называемый третник, состоящий из двух частей олова и одной части свинца. Это сплав, который переходит из жидкого состояния непосредственно в твердое, минуя промежуточную стадию тестообразного состояния. Однако не для всех соединений этот припой является наилучшим. В соответствии с ГОСТ 1499—54 применяют следующие марки оловянно-свинцовых припоев: ПОС-90, ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40, ПОС-30 и ПОС-18. Буквы обозначают сокращенное название припоя (припой оловянно-свинцовый), цифры — процентное содержание в нем олова.

При выборе марки припоя необходимо руководствоваться как технологическими, так и экономическими соображениями. С увеличением содержания олова растет стоимость припоя, но зато повышается его жидкотекучесть. В соединениях с узкими глубокими щелями, например в соединении стержневых обмоток с петушками коллектора, используют припои с более высоким содержанием олова, а в ответственных машинах — иногда и чистое олово. В соединениях с широкими щелями и для лужения применяют малооловянистые припои.

Паяние мягкими припоями используют для соединений обмотки якоря с пластинами коллектора, соединения головок

стержневых обмоток, междуфазовых и междукатушечных перемычек, кабельных наконечников и др.

Из требований, предъявляемых к припоям, оловянно-свинцовый не удовлетворяет требованию нагревостойкости. В электрических машинах старых типов нагрев обмоток обычно не превышал температуру 100° С и работали они или в продолжительном режиме или в повторно-кратковременном с малым числом пусков. При разработке новых нагревостойких классов изоляции и при работе двигателей с частыми пусками выявилось, что температура размягчения мягких припоев ниже рабочих температур обмоток, что могло бы стать причиной выхода машин из строя.

В результате этого стали применять паяние твердыми припоями, температура плавления которых выше 600° С. Из твердых припоев в обмотках электрических машин наибольшее распространение получили меднофосфористые припои ПМФ-7 и ПМФ-9. Первый имеет температуру плавления 850° С, второй 780° С. Цифры в обозначениях марок припоев показывают процентное содержание фосфора. Меднофосфористые припои имеют низкую стоимость и не требуют драгоценных металлов и флюсов при паянии меди. Они обладают хорошими технологическими свойствами, высокой прочностью и электропроводностью соединения.

Успешное применение меднофосфористых припоев в электропромышленности свидетельствует о целесообразности дальнейшей замены этими припоями оловянно-свинцовых. В некоторых случаях при этом требуется изменение конструкции соединений.

Меднофосфористые припои не пригодны для паяния черных металлов, так как они их не смачивают. Отрицательной особенностью меднофосфористых припоев является также низкая пластичность соединения, поэтому в соединениях, работающих на удар и изгиб, их следует заменять хотя и более дорогими, но более пригодными для этих условий серебряными припоями. Так, например, для паяния коллекторов наилучшим является припой ПСр-71, содержащий 71% серебра, 28% меди и 1% фосфора. Прочность соединения, спаянного этим припоем, превышает прочность меди. Припой обладает высокой электропроводностью, жидкотекучестью и позволяет применять импульсное паяние.

§ 87. ФЛЮСЫ

Чтобы получить хорошее паяное соединение, припой должен смачивать соединяемые поверхности, растекаться по ним и затекать в тончайшие зазоры между ними. Для этого соединяемые поверхности должны быть совершенно чистыми и свободными

от окислов, жира, грязи. Очистить поверхности можно механическим путем — стальными щетками, напильниками, шаберами и стеклянной бумагой. Но этого недостаточно. В процессе нагрева очищенные поверхности покрываются тонким слоем различных окислов, препятствующих паянию.

Для исключения вредного влияния окислов применяют особые вещества, называемые флюсами. Они должны сплавлять и удалять окислы с поверхности соединяемых металлов и предохранять их от окисления в процессе паяния; предохранять от окисления расплавленный припой; снижать поверхностное натяжение припоя и улучшать его смачиваемость и растекаемость. Однако флюсы не могут заменить механической очистки поверхностей, так как они не удаляют посторонних веществ органического происхождения, например жиров, масел и др.

При паянии мягкими припоями в электромашиностроении чаще всего применяют в качестве припоя канифоль в виде порошка или раствора в бензине или спирте в пропорции по весу 1 : 1. Канифоль хорошо защищает металл от коррозии и не выделяет паров, разъедающих изоляцию. Она покрывает место паяния твердой защитной пленкой, образующейся по окончании паяния. Эта пленка водонепроницаема, и кислоты, остающиеся на паяном шве под пленкой, утрачивают свою активность.

При паянии электролитической меди меднофосфористыми припоями, которые являются самофлюсующимися, флюсов не требуется. Для паяния медных сплавов, как это имеет место при паянии латунных стержней пусковой обмотки в короткозамкнутых роторах с двойной клеткой, необходимо применять флюс (буру или борную кислоту).

§ 88. ПАЯЛЬНИКИ

При паянии мягкими припоями для нагревания деталей и расплавления припоя служат электрические паяльники. По способу нагрева их можно разделить на паяльники с нагревательными спиралями, паяльники с контактным нагревом, электродуговые и ультразвуковые паяльники.

Нагревательные спирали паяльников наматывают из проволоки с высоким удельным сопротивлением — нихрома или фехраля. В электрических паяльниках, включаемых в сеть напряжением 220 *в*, для получения небольшой мощности приходится применять очень тонкую проволоку, которая быстро перегорает. Поэтому для питания электрических паяльников используют пониженное напряжение от специальных трансформаторов с напряжением на вторичной обмотке от 10 *в* для маломощных паяльников и до 55 *в* для паяльников мощностью в несколько сот ватт.

Обычно в электропаяльниках нагревательные спирали обертывают вокруг стержня, изолированного жаростойким миканитом. Недостаток такой конструкции заключается в том, что большое количество тепла рассеивается и паяльники потребляют много электроэнергии. Сильный нагрев наружной оболочки затрудняет работу с паяльником, вызывает опасность ожогов и пожаров.

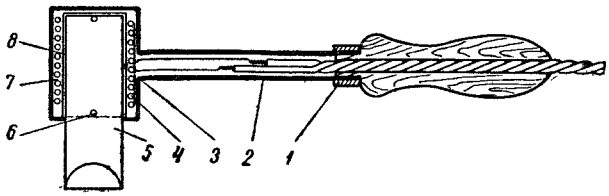


Рис. 149. Электропаяльник с нагревательными спиралями

На рис. 149 показано устройство усовершенствованного паяльника с нагревательными спиралями. В стержне *5* профрезерован паз, в который вложена пластинка *8* жаростойкого миканита толщиной 1 *мм* с намотанной на него спиралью *4*. Пластинка закреплена винтами *6*. Стержень паяльника заключен в обойму *3* из листовой стали с приваренной к ней трубкой *2*, которая при помощи кольца *1* скреплена с деревянной ручкой. Для защиты от излучения тепла между стержнем и обоймой вложен асбестовый шнур *7*. Спираль соединена в две параллельные ветви. Паяльник потребляет небольшую мощность (90—100 *вт*), наконечник его в течение 10 мин. разогревается до температуры 500° С.

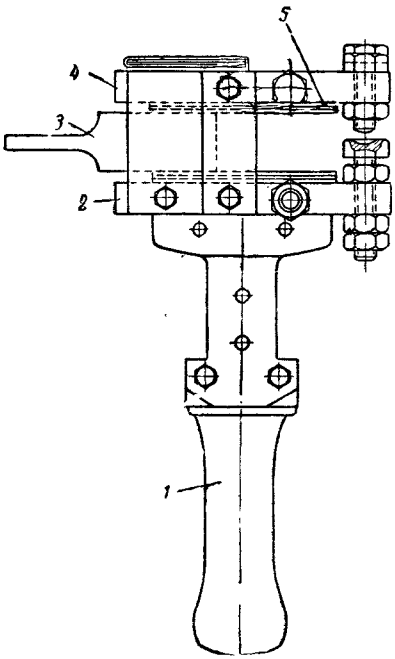


Рис. 150. Электропаяльник с контактным нагревом

Недостатками паяльников с нагревательными спиралями являются частое перегорание спиралей и небольшая мощность. Поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда приходится периодически пользоваться паяльником для паяния небольших деталей. Для непрерывного процесса пая-

ния крупных деталей служат более мощные и надежные паяльники с контактным нагревом или электродуговые.

На рис. 150 показано устройство паяльника завода «Электросила» с контактным нагревом. Ток от понижающего трансформатора напряжением 10—36 *в* и мощностью 20—30 *квт* подводится к двум медным планкам *2* и *4*, между которыми зажимают сменные медные наконечники *3*, которые подбирают в зависимости от характера работы. На одной из сто-

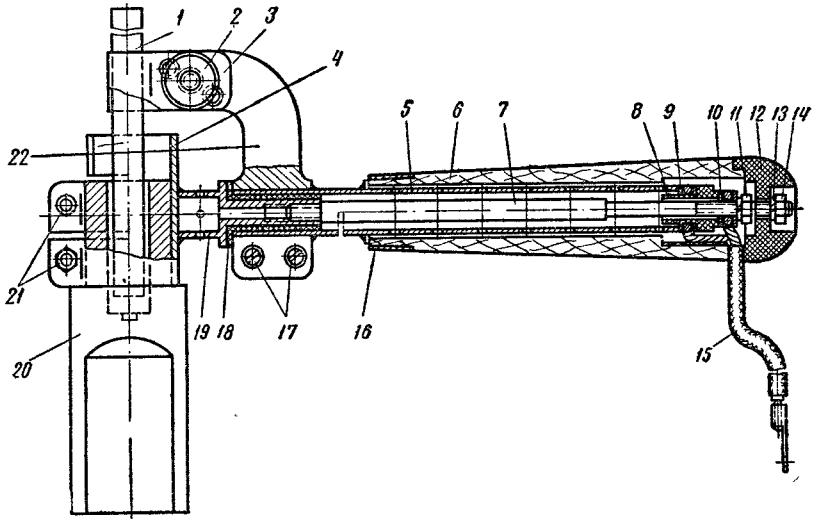


Рис. 151. Электродуговой паяльник

рон планок наплавлен слой *5* нихрома, обладающий повышенным сопротивлением, вследствие чего наконечники при протекании тока нагреваются. Паяльник укреплен на ручке *1* из теплоизолирующего материала.

Паяльники с контактным нагревом применяют при изготовлении коллекторов, а также для паяния якорных обмоток с петушками коллектора, проволочных бандажей и для других работ. Такие паяльники имеют большую мощность и более надежны в работе, чем паяльники с нагревательными спиралями.

В электродуговых паяльниках наконечник нагревается электрической дугой, которая горит между ним и угольным электродом. Особенно удобны такие паяльники для паяния бандажей, так как ввиду большой массы якоря требуется мощный источник тепла.

Электродуговой паяльник (рис. 151) имеет сменный медный наконечник *20*, который хвостовиком вставляют в стальной дер-

жатель *4* и крепят двумя болтами *21*. К держателю приварен кронштейн *19*, к которому подводится ток через латунную шпильку *7*. Второй электрод источника тока соединен с латунной трубкой *5*, изолированной от шпильки *7* изоляционной трубкой *8* и шайбой *18*.

Ток от трансформатора подводится через двухжильный кабель *15*. Одна жила зажата гайкой *11* между двумя шайбами *10*, вторая — между шайбами *9*. Ток от трубки *5* через скобу *3* поступает к угольному электроду *1*. Держатель *22* электрода приварен к трубке *5* и зажат хомутиком с болтами *17*. Паяльник держат за деревянную ручку *6* с металлическим кольцом *16*. Ручка насажена на трубку *5* и закреплена гайкой *14* с пружинной шайбой *13*, прижимающей текстолитовую головку *12*. Электрод закрепляется в держателе скобой *3* при помощи болта и гайки *2*.

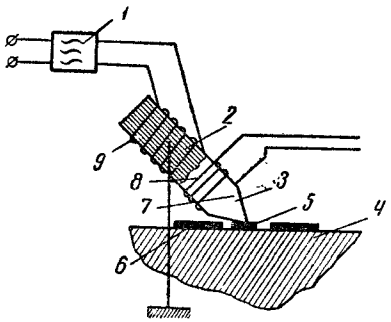


Рис. 152. Ультразвуковой паяльник

Для зажигания дуги необходимо положить несколько мелких кусочков угля в углубление медного наконечника *20*, включить рубильник и опустить электрод до соприкосновения с углем. В процессе горения длина электрода уменьшается, поэтому через каждые 10—15 мин. электрод вдвигают в углубление головки на несколько миллиметров. Паяльник питается однофазным током напряжением 35—40 *в* и потребляет ток 40—45 *а*. Чтобы защитить глаза от вредного действия ультрафиолетовых лучей, при работе с паяльником необходимо надевать светозащитные очки.

Ультразвуковые паяльники применяют для паяния и лужения алюминия. Алюминий на воздухе быстро покрывается слоем окиси, препятствующей соединению припоя с металлом. Под действием ультразвука окисная пленка размельчается и удаляется с поверхности, открывая припою доступ к поверхности алюминия.

Ультразвуковой паяльник (рис. 152) питается переменным током частотой 20—44 *кгц* от генератора *1* мощностью 35—100 *вт*. Ток высокой частоты подводится к катушке *9*, внутри которой находится сердечник *2* из сплавов железа, никеля или кобальта. Под действием тока высокой частоты длина такого сердечника периодически изменяется и он начинает излучать ультразвуковые колебания. На конце сердечника укреплена головка *7* паяльника, заостренный конец *3* которой является рабочим элементом паяльника.

Обмотка *8* служит для нагревания сердечника до температуры паяния и питается от сети переменного тока промышленной частоты. Ультразвуковые колебания проходят через расплавленный слой припоя и воздействуют на окисную пленку *6*, поэтому соединение припоя *5* с деталью *4* получается прочным. Паяние производят чистым оловом или оловянно-цинковым припоем без флюса.

Поверхность металла должна быть очищена от различных масляных загрязнений. Паяльники с собственным подогревом используют для паяния деталей толщиной не более 10 *мм;* для массивных деталей применяют подогрев электрическими устройствами, паяльной лампой или газовой горелкой. Последнее наиболее удобно потому, что нагревание происходит очень быстро; это обеспечивает равномерное нанесение тонкого слоя в месте паяния.

§ 89. ПАЯНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ МЯГКИМИ ПРИПОЯМИ

Паяние коллекторов с обмоткой посредством паяльника возможно только для микромашин, так как с увеличением диаметра коллектора тепловой энергии паяльника становится недостаточно для нагрева коллектора до температуры плавления припоя. Поэтому для паяния коллекторов машин средней мощности, у которых выводы обмотки впаяны непосредственно в коллекторные пластины, прибегали к помощи паяльной лампы, которой предварительно прогревали поверхность коллектора. Однако эта операция вредно отражалась на качестве коллектора, так как вследствие местных перегревов коллекторная медь теряла твердость и наблюдалось выгорание склеивающих лаков в миканитовых прокладках между пластинами.

Эти недостатки удалось устранить при паянии коллекторов в специальных ваннах. На рис. 153 показано устройство паяльной ванны для одновременного паяния двух обмоток якорей с коллекторами диаметром от 70 до 130 *мм*. Цилиндрический чугунный бачок *5* разделен на два отделения стенкой со сквозным отверстием. На дне одной части бачка отлиты две бобышки *2* с отверстиями для конца вала якоря, на которые напрессованы чашки *3*, рассчитанные на наибольший диаметр коллектора. На чашки кладут сменные кольца в зависимости от диаметра коллектора. Щели между коллектором и отверстием в кольце уплотняют асбестовым шнуром.

В другой части бачка помещен пустотелый чугунный поршень *4*, который, опускаясь в расплавленный припой, вытесняет его во вторую половину бачка. Направляющая *14* обеспечивает концентричное положение поршня при опускании с помощью рычага *8*, на конце которого укреплен противовес *7*. Рычаг *8* закреплен в стойке *9* и связан с поршнем через шарнирную вил-

ку *10*. При повороте рукоятки *11* штурвала движение через червячную пару *12* передается на поршень. Он опускает и поднимает уровень припоя. Ванна имеет футерованный каркас *13* и снабжена газовой горелкой. Она оборудована вытяжным зонтом *6* и поддоном *1* для собирания капель припоя. Применение ванны взамен паяльника позволяет повысить производительность труда и более экономно расходовать припой.

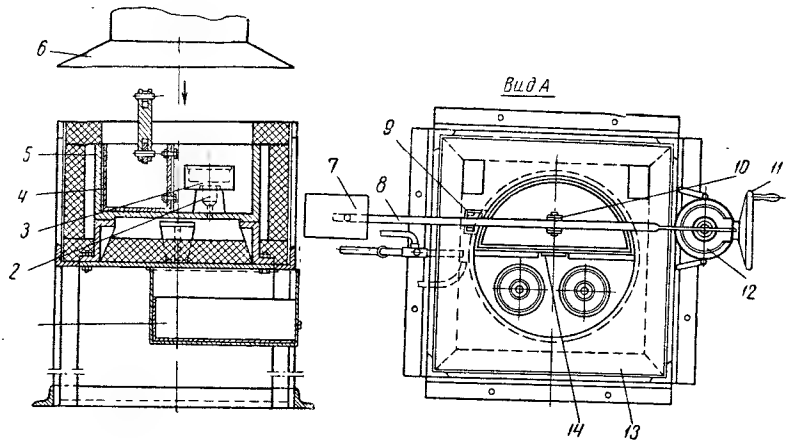


Рис. 153. Ванна для паяния обмоток якорей с коллекторами

§ 90. ПАЯНИЕ ТВЕРДЫМИ ПРИПОЯМИ

При паянии твердыми припоями для расплавления припоя применяют более эффективные методы нагрева, чем нагрев паяльником. В электромашиностроении ввиду того что вблизи места паяния находятся изолированные провода, нагрев должен производиться быстро и на небольшом пространстве. Соединяемые детали сжимают между угольными электродами, и пропускают через них электрический ток низкого напряжения.

На рис. 154 показана конструкция клещей для электроконтактного нагрева при паянии твердыми припоями. Клещи имеют подвижную *2* и неподвижную *6* губки, в которых зажаты графитовые электроды *1*. Давление электродов на соединяемые детали происходит при нажиме на рычаг *5*. Когда рычаг отпускают, губки расходятся под действием пружины *4*. Ток от трансформатора подводится к губкам гибким проводом и включается ножной педалью. Механизм клещей заключен в пластмассовый корпус *3*. Клещами можно пользоваться для паяния проводов сечением от 0,5 до 25 *мм*^{2}. Они имеют небольшой вес (0,5 *кг*).

Стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей в течение многих лет паяли мягкими припоями в кольцевой ванне.

Однако опыт эксплуатации показал, что этот способ ненадежен, особенно в тех случаях, когда электродвигатель подвергается частым пускам и торможениям. При этом наблюдаются отпайки соединительных хомутиков между стержнями верхнего и нижнего ряда, после чего концы стержней и соединений обмотки с контактными кольцами обгорают и электродвигатель выходит из строя.

Надежность работы двигателей сильно возросла, когда соединения обмотки ротора начали паять твердыми припоями. Паяние производится специальными клещами с фасоиными губками, в которые вставлены угольные электроды. В место соединения вкладывают тонкие пластинки меднофосфористого припоя, кото-

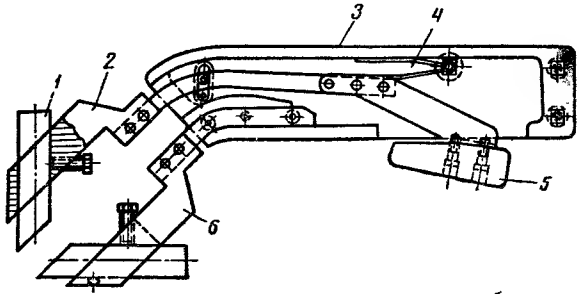


Рис. 154. Клещи для паяния твердыми припоями

рый при нагревании расплавляется. Пластинки припоя получают путем проката или снятия стружки с литой заготовки при помощи широкого резца. Ротор в процессе паяния кладут на роликовые опоры, на которых он легко поворачивается.

Метод контактного электронагрева применяют и при паянии короткозамкнутых клеток ротора. Для этого один конец вторичной обмотки трансформатора присоединяют к валу, а другой — к угольному электроду, зажатому в электрододержателе. Электрод прижимают к торцу короткозамыкающего кольца вблизи стержня. Выступающий конец стержня расплавляется и заполняет углубление в замыкающем кольце.

Для машин с нагревостойкой изоляцией применяют электроконтактное паяние обмотки якоря с коллекторными пластинами (рис. 155). Твердый припой расплавляют в ванне при температуре 800° С под слоем древесного угля. Концы секций обмотки, очищенные от изоляции, погружают на несколько секунд в ванну для облуживания слоем припоя. Паяние якоря производят на специальном приспособлении, которое состоит из плиты *1* с двумя бабками *2* и *9*. На неподвижной бабке *9* установлен шарнирный контакт *7* для подвода тока к пластине.

В электрододержателе *5* укреплен графитовый или вольфрамовый электрод *6*, который опускается при подъеме рукоятки *4* и поднимается под действием пружины *3*. Ток к контакту *7* и электроду *6* подводится от автотрансформатора *10* с вторичным напряжением 2 *в*. В первичную цепь автотрансформатора включено реле времени *11*, которое настраивается на необходимую продолжительность паяния. При установке якоря центр подвижной бабки отводится рукояткой *8*. В процессе паяния накладывают на коллекторную пластину контакт *7* и опускают электрод

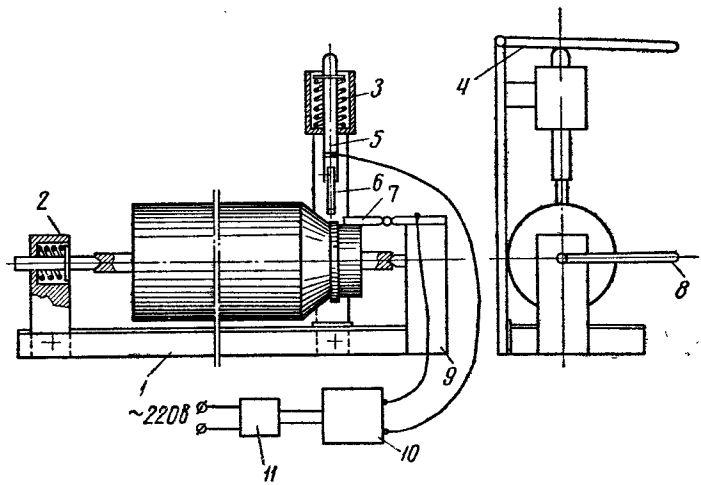


Рис. 155. Установка для паяния коллекторов твердыми припоями

6 до упора его рабочего конца в прорезь пластины. При этом припой на концах секций расплавляется и соединяет провод с пластиной.

§ 91. СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

Кроме паяния, в обмоточном производстве применяют электрическую сварку. Сварка отличается от паяния тем, что при сварке соединяемые металлы доводят до пластического или жидкого состояния, в то время как при паянии они находятся в твердом состоянии. В обмоточном производстве применяют контактную сварку по методу сопротивления и дуговую. При контактной сварке металлы в местах соединений доводят путем нагрева до размягченного состояния, после чего сдавливают и соединяют свариваемые части. При дуговой сварке металлы доводят до капельножидкого состояния и они смешиваются в общей

ванне жидкого металла. Процесс сварки может происходить с добавкой или без добавки присадочного металла.

Для соединения медных шин большого сечения в настоящее время почти исключительно служит контактная сварка в стык по методу сопротивления, хотя раньше для этого применяли электродуговую сварку.

Электродуговую сварку используют для сварки концов скрученных проводов в статорных обмотках из круглого провода или для наплавки замыкающих колец в короткозамкнутых роторах небольшой мощности. Наплавку кольца производят в ванне между керамическими или графитовыми формами. В качестве присадочного металла применяют отходы коллекторной меди. Наплавка кольца дуговой сваркой освобождает от операций гибки и сварки колец, их обработки и сверления в них отверстий для стержней «беличьей клетки».

В обмотках из изолированных проводов электрическая сварка всюду уступила место паянию твердыми припоями, так как при этом изоляция более надежно защищена от повреждений.

§ 92. ЛУЖЕНИЕ

Лужение применяют для получения надежного, неокисляемого контакта. Лужению подвергают те детали, которые в дальнейшем будут спаяны. Это особенно необходимо в тех случаях, когда паяние должно производиться в узких щелях. Так, например, перед впаиванием концов проводов обмотки якоря в прорези коллекторных пластин предварительно облуживают концы проводов и стенки прорезей в коллекторных пластинах.

Существуют два способа лужения — электролитическое и горячее.

Электролитическое лужение выполняют в ваннах с электролитом, через который пропускают постоянный ток низкого напряжения. Одним электродом являются изделия, которые требуется облудить, а другим — пластина олова. Электролитическое лужение применяют только для мелких деталей, при этом их связывают медной проволокой.

Концы шин, коллекторные пластины и другие детали лудят горячим способом путем погружения их в ванну с расплавленным припоем. Паяние кабельных наконечников на тонких проводах также производят путем погружения в ванну с расплавленным припоем. Для лужения применяют малооловянистые припои ПОС-18 и ПОС-30. Перед лужением поверхности деталей очищают при помощи флюсов.

Особенно трудным является лужение алюминия. Ультразвуковое лужение, которым пользуются при паянии узких швов, непригодно для лужения больших поверхностей алюминиевых шин.

На заводе «Динамо» разработан метод абразивного и абразивно-кристаллического лужения алюминиевых шин.

При лужении абразивным способом удаляют окисную пленку с поверхности алюминия и одновременно его облуживают абразивным кругом или карандашом, представляющим собой круг или стержень, спрессованный из стружки припоя и абразивного материала, например измельченного асбеста. При применении абразивного способа обеспечивается высокая производительность труда, стабильность слоя полуды, простота контроля облуженных поверхностей и использование припоев с различной температурой плавления. Недостатком абразивного способа лужения является трудность лужения боковых поверхностей шин и невозможность лужения отверстий под болты. Для предохранения от коррозии необлуженных поверхностей приходится закрашивать их краской, причем краска не должна попадать на контактные поверхности, так как она увеличивает сопротивление контакта.

Абразивно-кристаллический способ лужения позволяет получить слой полуды на всей поверхности шины и внутри отверстий. Окисная пленка с поверхности алюминия удаляется с помощью кристаллов, входящих в состав полужидкого припоя. При абразивно-кристаллическом лужении деталь перемещается относительно припоя. Силы трения, возникающие между поверхностью шины и твердыми кристаллами, разрушают окисную пленку, а очищенная поверхность облуживается жидкой составляющей припоя. Оба вида лужения производятся без флюсов, поэтому в припое отсутствуют включения остатков флюса и уменьшается интенсивность последующей коррозии.

Лужение абразивно-кристаллическим способом может быть почти полностью механизировано. Шины закрепляют на вибрирующей части приспособления с частотой колебаний 50 *гц*. По окончании лужения шины вынимают из ванны, излишки припоя удаляют ветошью, асбестовой тканью или окунанием в ванну с жидким припоем.

ГЛАВА XV

ПРОПИТКА ОБМОТОК

§ 93. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОПИТКИ

Надежность изоляции обмоток определяется не только свойствами самих электроизоляционных материалов, но и качеством их пропитки. Пропитка изоляционных материалов повышает их нагрево- и влагостойкость, электрическую и механическую прочность, химическую стойкость, улучшает их теплопроводность и защищает изоляцию от воздействия пыли, смазочных масел. Поэтому пропитка имеет очень важное значение в электромашиностроении.

Повышение нагревостойкости электроизоляционных материалов после пропитки подтверждается тем, что одни и те же изоляционные материалы до пропитки относят к классу нагревостойкости Y, а после пропитки — к классу А, причем допустимая рабочая температура повышается с 90 до 105° С. Это объясняется тем, что в непропитанных целлюлозных материалах при температуре выше 90° С происходит ускоренное разрушение, связанное с окислительными процессами. Пропитка катушек с эмалевой изоляцией проводов повышает срок их службы в 3—4 раза.

Все волокнистые материалы, особенно целлюлозные, обладают способностью поглощать влагу из окружающей среды. При увлажнении изоляции ее диэлектрические свойства резко ухудшаются. Для повышения влагостойкости всякую изоляцию электрических машин необходимо пропитывать. Лаковая пленка затрудняет проникновение влаги в поры изоляции. Пропитка для повышения влагостойкости нужна не только волокнистым материалам, но и эмалевой изоляции проводов.

Электрическая прочность непропитанных волокнистых материалов низка, так как их поры заполнены воздухом. При про-

питке поры заполняются пропиточными составами и электрическая прочность изоляции значительно возрастает.

В обмотках высоковольтных машин в воздушных прослойках происходит ионизация воздуха и выделяющийся озон разрушает органическую изоляцию. Воздушные прослойки в слюдяной изоляции вызывают вспухание и даже перерезание изоляции в местах ее выхода из паза и вентиляционных каналах. Поэтому компаундирование для заполнения всех воздушных прослоек битумом обязательно.

Пропитка обмоток не только повышает механическую прочность самих изоляционных материалов, но также обеспечивает скрепление витков обмотки, что предотвращает износ витковой изоляции от вибраций, электродинамических усилий и тепловых расширений проводов при работе электрических машин. Это имеет особое значение для многовитковых обмоток из тонких обмоточных проводов.

Под влиянием кислот и щелочей органическая изоляция очень быстро разрушается. Пропитка обмоток химически стойкими лаками защищает поверхность изоляции от действия химически активных частиц, что значительно повышает ее надежность.

Мощность электрических машин ограничена вследствие нагрева их обмоток. При работе машины основное тепло выделяется в активных ее частях и главным образом в обмотках. Нагрев обмоток при данном режиме работы машины зависит от того, насколько быстро тепло отводится от обмоток охлаждающим воздухом. Поэтому теплопроводность изоляции является очень важным свойством. В непропитанных обмотках прослойки воздуха значительно снижают теплопроводность изоляции, что ведет к сильному перегреву проводов. После пропитки теплоотдача от меди обмотки улучшается; это позволяет увеличить плотность тока в проводах, экономить обмоточную медь и повысить срок службы машины.

После пропитки на поверхность изоляции наносят пленки покровных лаков или эмалей, которые защищают изоляцию от воздействия смазочных масел и препятствуют осаждению на ней пыли и грязи, создающих проводящие мостики и ухудшающих охлаждение обмоток.

§ 94. ПРОЦЕССЫ СУШКИ, ПРОПИТКИ И ЛАКИРОВКИ

Изоляционные материалы при длительном хранении в помещениях с нормальной, а тем более с повышенной, влажностью поглощают влагу, которая снижает электрическую прочность изоляции и препятствует проникновению в нее пропиточного лака. Поэтому перед пропиткой изоляционные материалы и обмот-

ки сушат. Исключением являются обмотки, пропитываемые в водноэмульсионных лаках, так как их растворитель (вода) хорошо смешивается с влагой изоляции и удаляется в процессе сушки после пропитки.

Чем выше температура сушки, тем быстрее удаляется влага из обмотки, однако нельзя превышать температуру, определяемую нагревостойкостью изоляции, во избежание ее ускоренного старения. Значительно ускоряет процесс сушка под вакуумом. Перед вакуумной сушкой обмотки прогревают при атмосферном давлении.

Основным способом пропитки является пропитка погружением нагретой обмотки в лак. Проникновение лака в обмотку происходит в результате действия капиллярных сил и давления, оказываемого весом лака. Число пропиток выбирается в зависимости от условий эксплуатации машины, а также от применяемых изоляционных материалов. Пропитке подвергают изоляционные материалы, катушки обмоток и обмотанные части машин. При пропитке под вакуумом и давлением особенно эффективен так называемый тренировочный процесс, при котором лак попеременно по 3—5 мин. находится под атмосферным давлением и давлением 7—8 *ат*.

После пропитки и стекания излишков лака обмотки снова сушат для удаления растворителей. Обмотки устанавливают в сушильную печь так, чтобы они лучше омывались горячим воздухом. Процесс сушки разделяется на две стадии: разогревание обмотки с удалением растворителей и запекание лаковых пленок. Степень сушки определяют по сопротивлению изоляции. Для снижения времени сушки кратковременно повышают температуру.

Обмотки, предназначенные для работы в тяжелых условиях, например при повышенной влажности или ионизации воздуха, компаундируют битумным компаундом. Процесс компаундирования состоит из сушки при атмосферном давлении и под вакуумом и пропитки при давлении 7—8 *ат*. При этом воздушные промежутки в изоляции уничтожаются путем опрессовки и заполнения их компаундом. Компаундирование намного повышает электрическую прочность изоляции, поэтому его применяют для всех высоковольтных машин. Температура нагрева микалентной изоляции определяется температурой разжижения компаунда.

Лакировка обмоток заключается в нанесении на их поверхность тонкого слоя покровного лака или эмали. Лучшее качество пленки получается при нанесении лака пульверизаторами. Чтобы получить толстые слои покровного лака, производят несколько покрытий с промежуточными сушками в печи или на воздухе. Для нанесения лака применяют специальные пистолеты-распылители, с помощью которых за 1 час. можно покрыть до 1000 $м^2$ поверхности. Они работают от сети сжатого воздуха под давле-

нием 4—6 *ат*. Лак подается из специального бачка, находящегося на высоте 2—3 *м* от пола. Расстояние от сопла до покрываемой поверхности 600—1000 *мм*, поэтому можно покрывать обмотки статора, находясь вне камеры распыления.

Обмотки сушат не только на заводах, но и при монтаже. Перед пуском машины после монтажа обмотки подсушивают. Для этого часто прибегают к пропусканию тока через обмотки. При внедрении пропитки в водноэмульсионных лаках, не являющихся пожароопасными, появилась возможность применять токовый метод сушки и в производстве электрических машин.

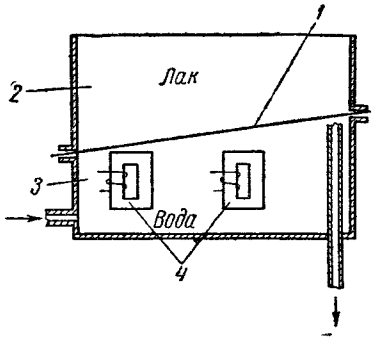


Рис. 156. Ванна для ультразвуковой пропитки обмоток

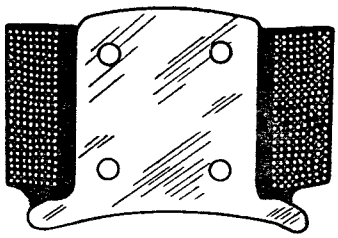


Рис. 157. Катушка, пропитанная вместе с полюсом

Опыт, проведенный на некоторых заводах, показал, что при этом можно значительно снизить продолжительность сушки.

Так, например, для статора электродвигателя единой серии А-42/4, по данным Дмитровского электромеханического завода, время сушки в печи с конвекционным нагревом составляло 19,5 час., а при токовой сушке — только 2,7 час. При этом расход электроэнергии сократился с 3,27 до 1,43 *квт·ч* на один статор.

Нагрев обмоток можно производить как постоянным, так и переменным током. При переменном токе вследствие индуктивного сопротивления обмоток приложенное напряжение должно быть выше, чем при постоянном токе. При сушке в сушильных камерах нагрев распространяется от наружной поверхности внутрь обмотки, а при токовой сушке — от проводов наружу, что способствует лучшей сушке витковой изоляции.

Ускорение процесса пропитки достигается путем применения ультразвука. Для этого делают двухкорпусную пропиточную ванну, разделенную перегородкой *1* из фосфористой бронзы, играющей роль мембраны (рис. 156). Нижнее отделение *3* заполняют циркулирующей водой и помещают в нем излучатели *4*, питаемые током высокой частоты, а в верхнем *2*, наполненном про-

питочным лаком, подвешивают пропитываемые детали. Время пропитки снижается с 2,5 час. до 2 мин. Пропиточный лак проникает в мельчайшие поры и даже между листами сердечника и между пластинами коллектора.

Однако такое глубокое проникновение лака затрудняет процесс сушки в обычных печах. В этом отношении может помочь токовая сушка обмоток. Дальнейшая разработка методов пропитки и сушки должна идти по пути интенсификации этих процессов. Сочетание ультразвуковой пропитки с комбинированной сушкой в печи и пропусканием тока через провода позволит добиться еще более эффективных результатов в области пропитки и сушки обмоток электрических машин.

В последние годы значительно усовершенствована технология пропитки полюсных катушек. По существовавшей технологии полюсные катушки после намотки изолировали лентами в несколько слоев. Этот процесс, несмотря на внедрение изолировочных станков, имел технологические недостатки, особенно для катушек дополнительного полюса с узким внутренним отверстием. После изолировки катушки компаундировали и затем собирали на сердечники полюсов, закрепляя их во избежание вибрации на полюсах. При этом между сердечником полюса и внутренним окном катушки оставались зазоры до 4,5 *мм* на сторону, что сильно снижало теплоотдачу от катушки к магнитопроводу.

По новой технологии катушки после намотки оплетают стеклянной лентой для стягивания витков, затем помещают вместе с полюсом в специальную форму и пропитывают различными составами на эпоксидных смолах (рис. 157). Для повышения теплопроводности в качестве наполнителя применяют кварцевый песок. Испытания катушек, изготовляемых по новой технологии, дали хорошие результаты. Значительно повысилась влагостойкость и виброустойчивость катушек, снизилась температура нагрева. Анализ результатов испытаний подтвердил возможность изменить конструкцию катушек, уменьшив их размеры, что даст большую экономию изоляционных, активных и конструкционных материалов.

§ 95. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОПИТКИ И СУШКИ

Обмотки электрических машин сушат и пропитывают в сушильно-пропиточных установках (сокращенно СПУ), которые делят на установки периодического и непрерывного действия.

Установки периодического действия могут быть приспособлены для обмоток разнообразной конструкции, поэтому их широко применяют в электромашиностроении при мелкосерийном производстве. Основным оборудованием СПУ периодического действия являются пропиточные ванны, сушильные печи и транспортные устройства. Для вакуумной пропитки или сушки уста-

новку оборудуют автоклавами и вакуум-сушильными шкафами. Изделия загружают в автоклав, который герметически закрывают, после чего в нем создается разрежение вакуумными насосами. Засасывание лака из наружного резервуара производится атмосферным давлением. Пропиточный лак в ванны подается только на время пропитки. Это уменьшает потери растворителя от испарения и устраняет образование воздушных пузырьков внутри обмотки.

Пропиточные ванны имеют систему отсосов для удаления вредных паров растворителей, а также систему аварийного слива лака в случае его загорания. Изделия погружают в ванну на специальных подвесках. Для подачи на сушку пропитанных изделий служат тележки, вкатываемые в камеру печи с помощью пневматического или механического привода.

Тепловые агрегаты сушильных установок состоят из калориферов, вентиляторов и системы воздуховодов. Для снижения потерь тепла предусматривается частичная рециркуляция отработанного воздуха. Калориферы бывают с паровым и электрическим нагревом. Паровые калориферы применяются преимущественно в непрерывно работающих установках при невысокой температуре сушки. Электрокалориферы обеспечивают более высокую температуру нагрева, обладают малой тепловой инерцией и допускают автоматическое регулирование температуры. Они имеют трубчатые или другого типа электронагреватели, соединенные параллельно.

Вентиляторы применяют как осевые, так и центробежные. Для обеспечения взрывобезопасности кожухи вентиляторов изнутри обшивают листами цветного металла, чтобы при задевании лопастей вентилятора не получалось искр. Воздуховоды изготовляют из листовой стали с теплоизоляцией. Температура измеряется обычно термометрами сопротивления. Система сигнализации подает звуковой или световой сигнал при какой-либо неисправности установки.

При погружении обмотанных статоров в ванну с лаком происходит обильное выделение паров растворителей, ухудшающих условия труда. Кроме того, изоляционный лак расходуется на покрытие наружной поверхности станины двигателя. Эти недостатки устраняются при пропитке статора изнутри, применяемой на некоторых заводах.

Обмотанный статор *9* ставят на крышку бака *1*, которая имеет отбортовку (рис. 158). В центре крышки вварена труба *2*, сообщающаяся с лаком. Между крышкой бака и торцом станины проложено уплотнение *3*. К рабочему месту подведен сжатый воздух давлением 4,5—5 *ат* и вытяжная вентиляция *8*. Пропиточный лак поступает в бак *1* из отдельного резервуара, который по соображениям пожарной безопасности вынесен в другое помещение.

Для пропитки обмотки поднимают уровень лака давлением сжатого воздуха настолько, чтобы лак покрывал всю обмотку и не доходил на 2—3 *см* до верхней кромки станины. В процессе пропитки коробку выводов станины закрывают заглушкой. Окончив пропитку, выпускают лак обратно в бак *1*, снимают заглушку с коробки выводов и дают стечь излишкам лака. После выдерживания в течение 40 мин. статор направляют на тележке в сушильную камеру.

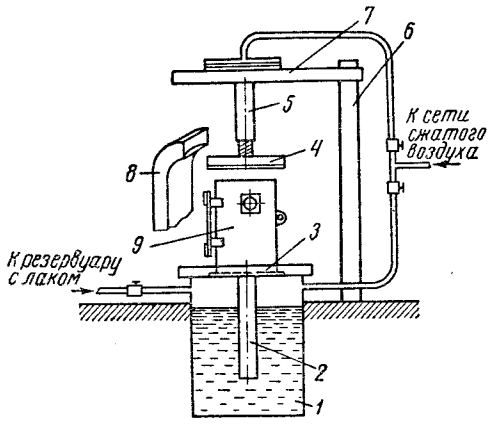


Рис. 158. Установка для пропитки статора

В этой же установке можно производить пропитку обмотки под давлением. При этом сжатый воздух подается в бак *1* и в пневматический цилиндр *5*, прижимающий крышку *4* к верхнему торцу станины. Крышку подводят поворотом траверсы *7*, укрепленной на колонке *6*. Винтовое соединение крышки с цилиндром *5* позволяет регулировать ее положение для станин с разной высотой.

При использовании установок периодического действия требуются затраты труда на загрузку и выгрузку изделий, промежуточные склады для пропитываемых статоров и роторов; кроме того, не обеспечивается стабильность технологического процесса.

Поэтому при крупносерийном и массовом производстве применяют пропиточно-сушильные установки непрерывного действия. Их выполняют с автоматическим управлением технологическим процессом, при котором относительная продолжительность различных операций определяется соотношением конструктивных размеров установки. По конструктивному выполнению большая часть сушильно-пропиточных установок представляет собой цепной конвейер. В установках этого типа изделия подвешивают на подвесках, связанных с каретками, катящимися по монорельсовому пути. Каретки связаны цепью, которая приводит их в движение.

На рис. 159 показаны продольный разрез пропиточной ванны и поперечный разрез сушильной печи пропиточно-сушильного конвейера завода «Динамо» для статоров и роторов крановых электродвигателей. Пропитку производят в водноэмульсионном лаке *2*, что позволяет расположить ванну *1* непосредственно в

обмоточном цехе (рис. 159, *а*). Сушильная печь имеет две зоны (рис. 159, *б*).

В зоне *I* происходит предварительная сушка после пропитки при температуре 90—100° С, а в зоне *II* — окончательная сушка и запечка лака при температуре 130—135° С. Для поддержания необходимой температуры в зоне *I* вдоль боковой стенки установлены батарея *3* из труб, нагреваемых паром, а также парокалорифер *4*, размещенный на крыше печи. Воздух через калори-

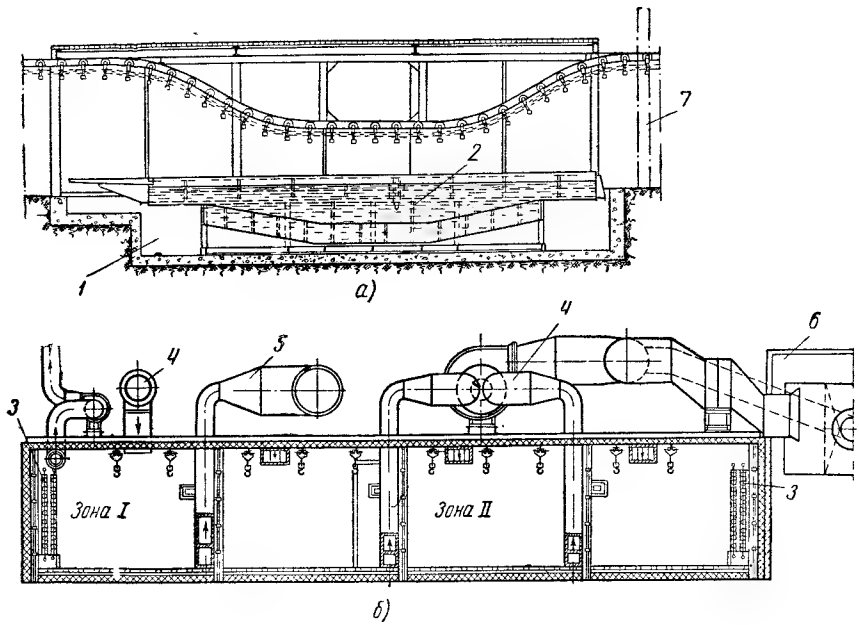


Рис. 159. Установка для непрерывной пропитки:
а — разрез пропиточной ванны, *б* — разрез сушильной печи

фер и трубы прогоняется вентилятором, который забирает его из нижней части зоны *I* и выбрасывает в верхнюю часть зоны. Над зоной *I* установлен вентилятор *5* для выброса части воздуха в атмосферу, чтобы снизить концентрацию паров растворителей.

Зона *II* обогревается тремя источниками тепла: батареями *3*, обогреваемыми паром, парокалорифером *4*, установленным на крыше печи, и электрокалорифером *6*, размещенным в пристроенном к печи помещении. Из нижней части зоны *II* воздух засасывается вентилятором и далее идет в смеситель через паро- и электрокалорифер, а затем по трубам в верхнюю часть зоны *II*.

На торце печи имеются два окна *7* (рис. 159, *а*) для входа и выхода изделий, которые для уменьшения потерь тепла снабже-

ны шторками из листовой резины. Пропиточная ванна установлена в бетонированном углублении в полу цеха. К торцу ее пристроен лоток с наклонным дном для стекания лака.

Применение пропиточно-сушильного конвейера позволило создать жесткий режим пропитки и сушки и повысить качество пропитки. При этом достигается большая экономия электроэнергии, сокращаются транспортные расходы и улучшаются санитарные условия работы.

§ 96. КОМПАУНДИРОВАНИЕ ОБМОТОК

Полюсные катушки и катушки статоров высоковольтных машин компаундируют в специальных котлах (автоклавах) с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель, обеспечивающий при компаундировании температуру 170° С.

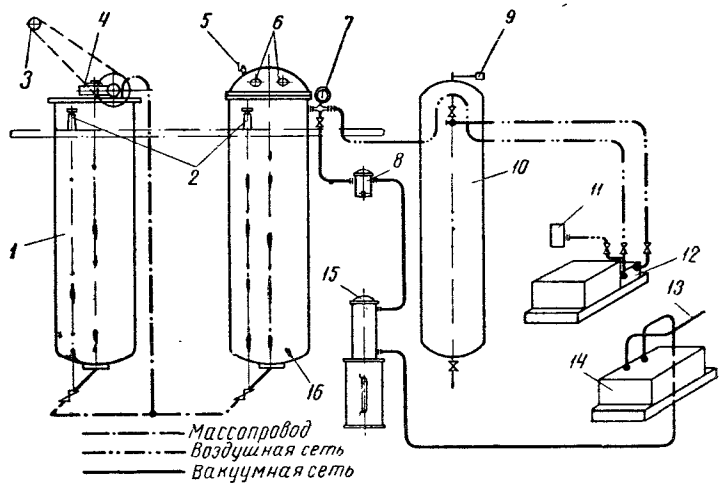


Рис. 160. Схема установки для компаундирования

Расположение агрегатов установки для компаундирования схематически показано на рис. 160. Детали, подвергающиеся компаундированию, опускают в проволочных сетках в автоклав *16* с герметически закрывающейся крышкой, которая уплотняется свинцовой прокладкой. Автоклав имеет двойные стенки, между которыми циркулирует пар под давлением не ниже 8 *ат*. Для нагрева автоклава применяют также масло, нагреваемое электрическими сопротивлениями.

Рядом с автоклавом помещен смесительный котел *1* также с двойными стенками, между которыми циркулирует теплоноситель. Битумная масса в смесительном котле находится в нагретом жидком состоянии. Все трубопроводы, по которым проходит

масса, также снабжены рубашками с подогревом во избежание затвердевания массы и закупорки трубопроводов. В верхней части смесительного котла установлена червячная передача *4* мешалки, приводимая во вращение от шкива *3* электродвигателя. Вращение мешалки препятствует осаждению твердых частей битумной массы на дно смесительного бака и обеспечивает однородный нагрев массы. На крышке автоклава установлен вентиль *5* для выпуска воздуха и смонтированы смотровые окна со стеклами *6* для наблюдений за процессом компаундирования, происходящим в автоклаве. На боковой стенке автоклава установлен мановакуумметр *7* для измерения давления или разрежения внутри автоклава.

Разрежение в автоклаве создается при помощи вакуум-насоса *14,* который выбрасывает воздух через выхлопную трубу *13.* Для предохранения вакуум-насоса от загрязнения битумной массой в трубопроводе встроен массоулавливатель *8,* а за ним — конденсатор *15.* Вакуум-насос может создать в автоклаве сильное разрежение (до 20 *мм рт. ст.*). Но производительность его мала, и потому сначала воздух откачивают при помощи компрессора *12,* переключив его посредством кранов на всасывание, а затем включают вакуум-насос.

Компрессор забирает воздух через фильтр *11,* улавливающий влагу и пыль, взвешенные в окружающем воздухе. Компрессор может быть соединен с автоклавом непосредственно или через воздушный резервуар *10* для ускорения создания давления в автоклаве при пропитке. Резервуар оборудован предохранительным клапаном *9* для защиты его от разрыва при повышенном давлении.

Все агрегаты установки соединены трубами, из которых одни являются массопроводами, другие — воздушной сетью, третьи составляют вакуум-сеть для создания разрежения. На схеме они обозначены условными линиями. Штурвалы *2* служат для управления кранами массопроводов.

Процесс компаундирования требует точного выдерживания режима. При слишком высокой температуре битумной массы она легко проникает вглубь обмотки, но изоляция остается недопрессованной, при слишком низкой температуре изоляция обмотки хорошо прессуется, но масса не проникает в поры изоляции.

Так как компаундная масса более густая, чем пропиточные лаки, то для проникновения ее в поры изоляции и в промежутки между слоями изоляции необходимы специальные режимы, отличные от режимов пропитки.

Для компаундирования полюсных катушек необходимо:

уложить катушки в проволочную сетку;

загрузить автоклав катушками и прикрыть крышку автоклава, не затягивая ее болтами;

сушить катушки в автоклаве в течение 3 час.;

плотно затянуть болтами крышку автоклава;

создать в автоклаве вакуум при помощи вакуум-насоса и сушить катушки под вакуумом в течение 2 час.;

подать в автоклав битумную массу из мешалки;

впустить в автоклав воздух;

поднять давление в автоклаве посредством компрессора до 6 *ат* и поддерживать его в течение 5 час.;

выпустить битумную массу из автоклава в мешалку, продуть массопровод и дать стечь массе в течение 0,5 часа;

открыть крышку автоклава, вынуть сетку с катушками;

снять с неостывших катушек временную ленту с налипшей битумной массой.

При нагреве до температуры 105° С битумная масса размягчается и при дальнейшем нагреве от нее начинают отделяться капли. Во избежание разбрызгивания битумной массы под действием центробежной силы при вращении ротора или якоря компаундирование не применяют для вращающихся обмоток.

Низкая температура плавления битумной массы ограничивала температуру нагрева обмоток более низкими пределами, чем могут выдержать изоляционные материалы классов В и F. В настоящее время разработан и применяется компаунд с рабочей температурой 130° С.

§ 97. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В СУШИЛЬНО-ПРОПИТОЧНЫХ ЦЕХАХ

Основными требованиями противопожарной безопасности в сушильно-пропиточных цехах являются следующие:

категорически запрещается применять открытый огонь и курить;

категорически запрещается сушить одежду на паропроводах;

для тушения пожара должна быть установка для подачи пара и пенный огнетушитель;

при работе с лакораспылителем необходимо включить вентиляцию и следить за показаниями манометра, не допуская повышения установленных давлений;

при ремонте, монтаже и транспортировке пропиточных и смесительных котлов и других аппаратов нельзя допускать образования искр от удара стальных инструментов и деталей, так как они могут вызвать взрыв паров растворителей;

исправность противопожарного оборудования надо периодически проверять.

ГЛАВА XVI

КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

§ 98. НАЗНАЧЕНИЕ БАНДАЖЕЙ И ПАЗОВЫХ КЛИНЬЕВ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Центробежные силы пропорциональны величине вращающихся масс и квадрату скорости вращения. Например, при диаметре якоря 500 *мм* и скорости вращения 1000 *об/мин* центробежная сила в 250 раз больше массы обмотки. При увеличении скорости до 2000 *об/мин* центробежная сила увеличится в четыре раза и к каждому килограмму массы на окружности якоря будет приложена сила 1 *Т*.

Лобовые части всех обмоток, за исключением обмоток ротора турбогенераторов (см. § 85), удерживаются от отгибания под действием центробежных сил проволочными бандажами. Что касается пазовых частей, то они могут крепиться в пазах как бандажами, так и клиньями. Это зависит от формы паза. Пазовые части обмоток при закрытых, полузакрытых и полуоткрытых пазах крепят клиньями из дерева, текстолита или пластмассы (см. рис. 11, *а, б, в*).

При открытой форме паза применяют как клинья (см. рис. 11, *д*), так и бандажи (см. рис. 11, *г*). Обычно бандажи при открытых пазах используют только в машинах небольшой мощности с диаметром якоря до 300 *мм*, так как они занимают меньше места по высоте паза. Крупные машины выполняют всегда с пазовыми клиньями. Клинья хорошо защищают обмотку в пазах от загрязнений, создается небольшое давление обмотки на каждый сантиметр площади клина и в клиньях отсутствуют потери на вихревые токи при вращении якоря в магнитном поле.

Клинья применяют также для крепления в пазах статорных обмоток машин переменного тока. Статорные обмотки хотя и

не подвержены действию центробежных сил, но должны быть прочно закреплены в пазах для защиты от перемещений под действием электродинамических сил.

§ 99. БАНДАЖИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

Бандажировочные станки относятся к нестандартному оборудованию и изготовляются заводами для собственных нужд на базе старых токарных станков. Бандажировочные станки должны быть снабжены динамометрами для контроля за натяжением проволоки и тормозами для предохранения от ослабления натяжения проволоки при остановке станка.

На рис. 161 показано устройство бандажировочного станка нестандартного типа. Бандажируемый якорь *1* ставят в центры станка и приводят во вращение поводковой шайбой *3*. На обод планшайбы наложена лента *2* тормоза, которая нормально держит планшайбу в заторможенном состоянии под действием пружины *6* на конец рычага *7*. Растормаживание производится ножной педалью *11* через трос *13*, огибающий направляющий ролик *8*. В процессе намотки педаль все время должна быть нажата.

Пружина *10* служит для возвращения педали в исходное положение. С этой педалью при помощи троса *14* связано управление фрикционной муфтой *12*. Муфта и тормоз сблокированы так, что при отпускании тормоза муфта включается, а при затормаживании выключается. Тормоз обеспечивает постоянное натяжение проволоки при остановке станка. Бандажная проволока с бухты *16* проходит через фетровые прокладки *17*, стянутые стальными пластинами, натяжные ролики *15* и через направляющие ролики *5* подводится к окружности якоря. На рисунке прохождение проволоки показано стрелками.

Натяжение проволоки регулируется силой сжатия прокладок *17* и количеством роликов *15*, которые огибает проволока. Натяжение проволоки контролируется динамометром *4*, к крюку которого подвешена обойма ролика *5*, огибаемого проволокой. Продольная подача проволоке при намотке бандажей сообщается передвижением суппорта. Станок приводится в действие от электродвигателя *9* мощностью 1,5 *квт* при 1420 *об/мин*. Бандажируемый якорь вращается со скоростью 27 *об/мин*.

Бандажировочные станки нестандартного типа имели несовершенные механизмы и изготовление их обходилось дорого. Специализация заводов на определенные типы электрических машин и увеличение выпуска потребовали более совершенных бандажировочных станков. Таких станков разработано несколько типов в зависимости от размеров якорей. Их снабжают более надежными механизмами натяжения бандажной проволоки;

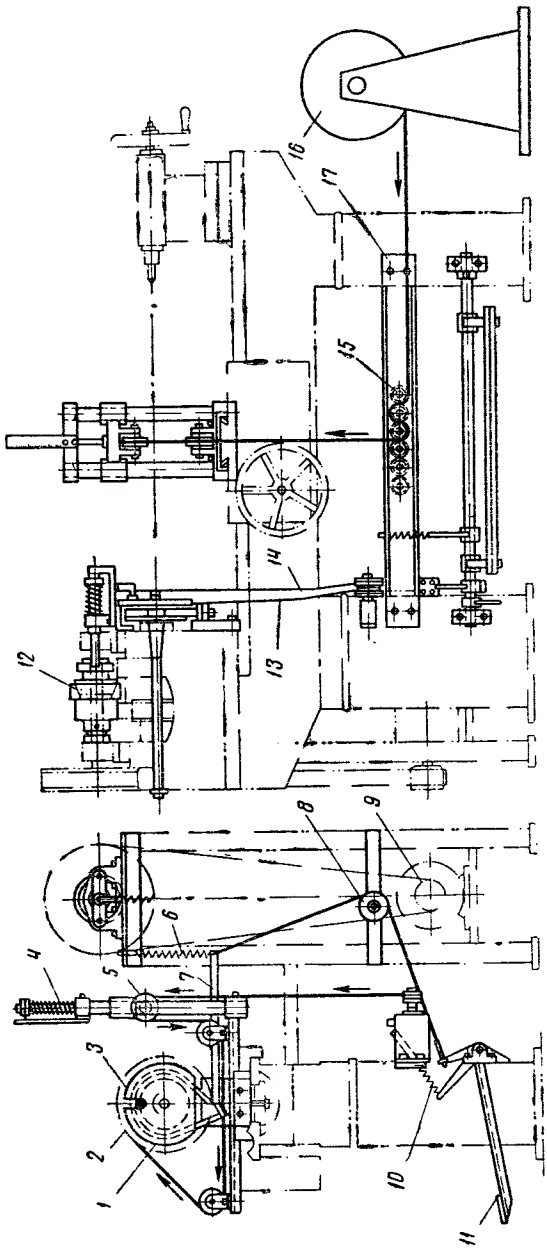


Рис. 161. Схема бандажировочного станка

проволоку пропускают в виде восьмерки через желобки двух барабанов с параллельными осями. При намотке многовитковых бандажей пользуются счетчиками оборотов, что освобождает бандажировщика от необходимости считать намотанные витки.

Шпиндели этих станков имеют бесступенчатые вариаторы для изменения скорости вращения шпинделя. Это позволяет для каждого типа якоря установить наиболее рациональную скорость вращения. На суппорте станка имеется специальное отрезное устройство для отрезания концов стержней обмотки якоря, выступающих из петушков коллекторных пластин. Поскольку паяние бандажей производят без снятия якоря с бандажировочного станка, он оборудован вытяжной вентиляцией для удаления паров, выделяемых при паянии. Типовые бандажировочные станки изготовляются серийно специальными заводами, что снижает их стоимость и повышает качество.

§ 100. НАМОТКА ПРОВОЛОЧНЫХ БАНДАЖЕЙ

Бандажи наматывают из специальной луженой стальной проволоки, обладающей высокой механической прочностью (180 *кГ/мм*^{2}). Бандажная проволока поступает на завод в бухтах и имеет диаметры от 0,2 до 2,5 *мм*. Проволочные бандажи наматывают с большим натяжением, которое контролируется динамометром. В результате натяжения проволоки при намотке обмотка прижимается к дну паза с большей силой, чем центробежная сила при вращении ротора, благодаря чему обмотки не перемещаются в пазах.

Величина натяжения указана в табл. 7, в которой приведены также диаметры проволоки в зависимости от диаметра якоря. Зависимость диаметра проволоки от диаметра якоря объясняется тем, что с увеличением диаметра якоря растет окружная скорость.

Таблица 7

Натяжение бандажной проволоки при намотке бандажей

Диаметр якоря, *мм*	Диаметр проволоки, *мм*	Натяжение, *кГ*, проволоки при намотке			
		временного бандажа	основного бандажа		
			1-й слой	2-й слой	3-й слой
От 100 до 200	0,8	40— 60	35— 55	30— 50	30— 45
От 201 до 400	1	65— 90	55— 80	50— 80	45— 70
От 401 до 600	1,2	95—130	80—120	75—115	65—105
От 601 до 1000	1,5	140—230	125—185	115—175	100—165
Свыше 1000	2	250—360	220—330	205—315	180 –290

В крупных машинах бандажи на лобовых частях могут быть намотаны в несколько слоев. В этом случае натяжение проволоки в каждом следующем слое должно быть меньше, чем в предыдущем (табл. 7). Если бы все слои наматывали с одинаковым натяжением, то бо́льшая часть нагрузки от центробежной силы пришлась бы на последний слой.

В многослойных бандажах между слоями прокладывают изоляцию из асбестовой бумаги для снижения потерь на вихревые токи в сечении бандажа. При намотке многослойных бандажей каждый слой наматывают и пропаивают отдельно. Намотку первого слоя ведут от сердечника якоря к коллектору, второго — в обратную сторону и т. д. Такой порядок намотки исключает выпучивание лобовых частей обмотки у торца сердечника.

Иногда при временном отсутствии бандажной проволоки данного диаметра приходится ее заменять проволокой другого диаметра. При этом необходимо учитывать, что прочность каждого витка зависит от квадрата диаметра. Например, если по расчету бандаж должен состоять из 50 витков проволоки диаметром 1,2 *мм*, а в наличии имеется проволока диаметром 1 *мм*, то вместо 50 витков надо намотать $50 \cdot \frac{1{,}2^2}{1^2} = 72$ витка. При этом увеличится и ширина бандажа, которая при диаметре проволоки 1,2 *мм* была $1{,}2 \cdot 50 = 60$ *мм*, а теперь стала $1 \cdot 72 = 72$ *мм*. Поэтому перед намоткой надо проверить, уложится ли этот бандаж на лобовых частях обмотки.

Для намотки бандажей на сердечник якоря на нем образуют канавки путем набора части листов уменьшенного диаметра. Ширина бандажей на сердечнике якоря должна быть не более 25—30 *мм* во избежание больших потерь на вихревые токи в сечении бандажей.

Чтобы витки обмотки не замыкались проволочными бандажами, под них подкладывают изоляцию из полосок электрокартона при классе изоляции А или гибкий миканит и электрокартон при классе В. Перед намоткой бандажа на лобовую часть сначала стягивают обмотку временными бандажами из 4—5 витков у сердечника якоря и у петушков коллектора. Затем снимают временные бандажи, отпускают тормоз станка и закрепляют начало проволоки за деревянный клин, вставленный между катушками обмотки около сердечника.

Под первый виток кладут заготовленную изоляцию и требуемое по чертежу число полосок белой жести для скрепок витков бандажа (рис. 162, *б*). Для закрепления конца и начала бандажа кладут две полоски на расстоянии 10—30 *мм* одну от другой. Начало и конец бандажа должны перекрываться (рис. 162, *г*), чтобы на этом участке бандаж не был ослаблен на один виток. После намотки первого витка его огибают скобочкой (рис. 162, *а*) и на нее мотают следующие витки. Конец бандажа

после запаивания и отрезания его от бухты вводят в заготовленное ушко скрепки (рис. 162, *в*). Во избежание разматывания конец и начало проволоки загибают (рис. 162, *г*).

Бандажи на лазовые части наматывают одним куском проволоки с переходными витками от одного бандажа к другому. После закрепления начал и концов переходные витки вырезают кусачками.

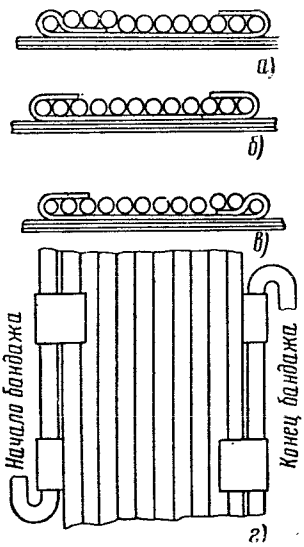


Рис. 162. Заделка конца бандажа:

а — начало бандажа, *б* — промежуточная скрепка, *в* — конец бандажа, *г* — расположение скрепок для начала и конца бандажа

При расчете бандажей считают, что напряжения между всеми витками распределяются равномерно. Однако в действительности это не так. Вследствие неизбежных колебаний натяжения проволоки при намотке бо́льшим напряжениям будут подвержены те витки, которые намотаны с бо́льшим натяжением. Обычно наибольшие напряжения приходятся на последние витки бандажей у переходных витков. Практика эксплуатации показывает, что при недостаточно надежной заделке последних витков разматывание и разрывы бандажей начинаются именно с них.

Разматывание бандажа, если его вовремя не заметить, приводит к тому, что обмотка якоря выступает из пазов или поднимается над обмоткодержателями и задевает за полюса. Это вызывает выход машины из строя полностью. Чтобы избежать таких аварий, все витки бандажа пропаивают по всей окружности якоря. Эта операция значительно усложняет технологический процесс и ведет к большому расходу дорогих припоев. Процесс паяния вредно отражается на состоянии изоляции обмотки, вызывая ее ускоренное старение. Замыкание витков бандажа припоем увеличивает потери на вихревые токи.

На рис. 163 показана заделка начала и конца двухслойного бандажа на лобовых частях обмотки якоря. Первый и последний витки бандажа сцепляются петлями и удерживаются тремя скрепками каждый. Соединение получается настолько надежным, что можно отказаться от пропаивания бандажа по всей окружности. Этот способ заделки применяют, в частности, в США.

Для машин малой мощности лобовые части обмотки якоря крепят при помощи ленточных бандажей (рис. 164). Заготовку бандажа (рис. 164, *в*) штампуют на эксцентриковом прессе.

Развернутая длина бандажа несколько больше окружности якоря; она имеет два боковых выступа, которые загибают на замок бандажа и запаивают (рис. 164, *б*). На рис. 164, *а* показан способ затяжки бандажа. Для наглядности чертежа бандаж изображен в увеличенном виде по отношению к якорю.

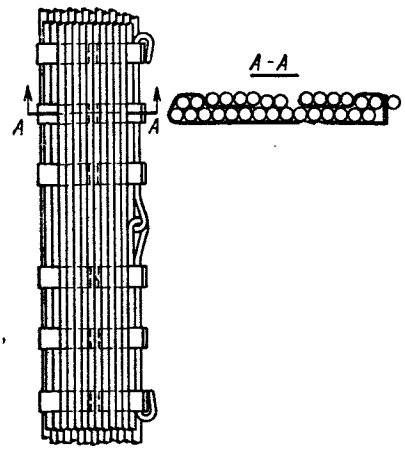


Рис. 163. Заделка концов двухслойного бандажа

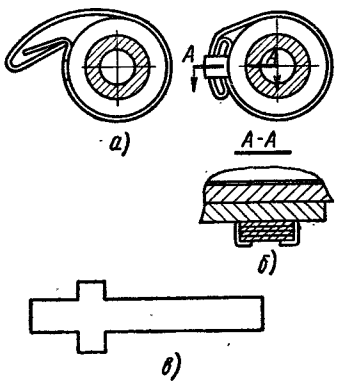


Рис. 164. Ленточный бандаж:
а — затяжка бандажа, *б* — крепление конца бандажа, *в* — заготовка бандажа

§ 101. РАСЧЕТ БАНДАЖЕЙ

Расчет обычно ведут отдельно для пазовой части якоря и для лобовых частей на максимальное число оборотов $n_{макс}$, которое может иметь якорь или ротор при работе машины. Для асинхронных двигателей, генераторов постоянного тока и синхронных машин можно брать $n_{макс} = 1{,}3\, n_{ном}$. Номинальное число оборотов $n_{ном}$ обозначают на щитке, прикрепленном к корпусу машины. Для двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением берут $n_{макс} = 1{,}5\, n_{ном}$, а для двигателей с последовательным возбуждением $n_{макс} = 3\, n_{ном}$.

Сначала следует определить вес обмотки, лежащей в пазах, который рассчитывают по формуле

$$G_п = 0{,}0116 abs_п zl \ кг, \qquad (40)$$

где a и b — размеры сторон прямоугольного провода, *см*;
$s_п$ — общее число проводов в пазу;
z — число пазов;
l — длина якоря без лобовых частей, *см*.

Затем выбирают диаметр бандажной проволоки d по табл. 7.

Число витков всех бандажей, намотанных на сердечник якоря, определяют по формуле

$$w = 1{,}2\frac{G_{\text{п}}(D-h_{\text{п}})}{d^2 3000}\left(\frac{n_{\text{макс}}}{1000}\right)^2, \qquad (41)$$

где D — диаметр якоря, *см*;

$h_{\text{п}}$ — глубина паза, *см*.

Вес лобовой части обмотки с одной стороны якоря рассчитывают по формуле

$$G_{\text{л}} = \frac{0{,}012D}{p} abs_{\text{п}}z \text{ кг}, \qquad (42)$$

где p — число пар полюсов.

Подставив $G_{\text{л}}$ вместо $G_{\text{п}}$ в формулу (41), получают число витков бандажа на лобовой части.

Рассчитаем бандажи генератора со следующими данными:

$D = 620$ *мм*, $z = 56$, $s_{\text{п}} = 4$, $a = 4{,}1$ *мм*, $b = 12{,}5$ *мм*,

$p = 3$, $n_{\text{ном}} = 1000$ *об/мин*, $h_{\text{п}} = 40$ *мм*, $l = 300$ *мм*.

Вес обмотки, лежащей в пазах,

$$G_{\text{п}} = 0{,}0116 \cdot 0{,}41 \cdot 1{,}25 \cdot 4 \cdot 56 \cdot 30 = 40 \text{ кг}.$$

По табл. 7 выбирают диаметр проволоки 1,5 *мм*.

Общее число витков всех бандажей на сердечнике якоря

$$w = 1{,}2\frac{40(62-4)}{0{,}15^2 \cdot 3000}\left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 70 \text{ витков}.$$

Вес лобовой части обмотки

$$G_{\text{л}} = \frac{0{,}012 \cdot 62}{3} 0{,}41 \cdot 1{,}25 \cdot 4 \cdot 56 = 28 \text{ кг}.$$

Число витков бандажа на каждой из лобовых частей

$$w = 1{,}2\frac{28(62-4)}{0{,}15^2 \cdot 3000}\left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 49 \text{ витков}.$$

§ 102. БАНДАЖИ ИЗ СТЕКЛОЛЕНТЫ

Тяговые электродвигатели следует отнести к числу машин, работающих в очень тяжелых условиях. Это машины на повышенное напряжение до 1500 *в*, заключенные в очень тесные габариты, поэтому недостатки проволочных бандажей, отмеченные

выше, особенно себя проявляют именно в этих электродвигателях. Лобовые части этих двигателей имеют очень малый вылет и на них надо расположить многовитковые бандажи. Вследствие этого бандажи нередко сползают с лобовых частей, продавливают изоляцию катушек и создают проводящие мостики на поверхности якоря.

Фирма «Вестингауз» уже в течение пяти лет выпускает тяговые электродвигатели, у которых проволочные бандажи заменены бандажами из нетканой стеклоленты, пропитанной полиэфирной смолой в полуотвержденном состоянии. Прочность такой ленты на разрыв может быть приравнена к прочности стальной бандажной проволоки.

При бандажировании ленту натягивают, чтобы создать в ней необходимое предварительное натяжение. Упругость стеклоленты примерно в пять раз меньше, чем стальной проволоки, поэтому очень важно правильно подобрать предварительное натяжение. Оно должно вызывать в ленте меньшее напряжение, чем напряжение, создаваемое максимальной центробежной силой при вращении якоря.

Перед бандажированием якорь нагревают до температуры 100° С. При этом смола в стеклоленте размягчается и избыток ее выступает на поверхность ленты. Для намотки бандажей из стеклоленты требуется переделка бандажировочного станка, заключающаяся в замене устройства для натяжения проволоки натяжными шкивами, роликами и укладчиком ленты. Скорость бандажирования стеклолентой может быть в несколько раз больше, чем стальной проволокой. Если накладываемый бандаж должен перекрывать широкие промежутки между проводами обмотки, то их закладывают полосками из слоистого материала толщиной около 0,4 *мм*, чтобы нижние слои ленты не вдавливались в эти промежутки.

Заделку концов бандажей осуществляют двумя способами. При большом числе витков последний виток захватывают рукой, отделяют от нажимного устройства и позволяют ленте скользить вдоль бандажа до тех пор, пока она не станет удерживаться трением. При бандажах из небольшого числа витков последний виток нагревают горячим утюгом, ускоряя полимеризацию смолы. После этого ленту отрезают вблизи полимеризованного участка.

Окончательную термообработку бандажей производят путем выдерживания в течение 4—6 час. при температуре 125° С. Перед загрузкой якоря в печь бандажи покрывают лентой для защиты от окисляющего действия горячего воздуха. Опыт эксплуатации показал, что бандажи из стеклоленты надежнее стальных. За время эксплуатации не наблюдалось случаев ослабления бандажа, и количество повреждений электродвигателей из-за аварий электрической части значительно снизилось.

Во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина (ВЭИ) получен на эпоксиднофенольной смоле стеклопластик, применяемый для бандажирования якорей тяговых электродвигателей заводов «Электротяжмаш» и «Динамо».

§ 103. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК В ПАЗАХ КЛИНЬЯМИ

Обмотки крепят в пазах клиньями для якорей с полузакрытыми пазами, а также для якорей крупных машин с открытыми пазами.

Для якорей с открытыми пазами заранее заготовляют клинья трапецеидального сечения. Клинья делают из твердых пород дерева (бука, березы) или из текстолита. Для клиньев нужно применять высушенное дерево, так как сырые клинья в процессе работы усыхают и могут выскочить из пазов. Дерево сушат в специальных сушильных печах или токами высокой частоты. Для клиньев выбирают бруски дерева без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Бруски на заготовки клиньев режут под углом 30° к растительным слоям во избежание скалывания слоев при забивании клина в паз.

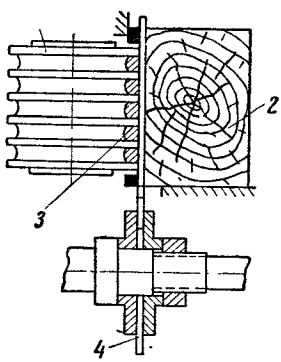


Рис. 165. Схема станка для изготовления деревянных клиньев

В крупных машинах с длинными сердечниками в каждый паз забивают несколько коротких клиньев.

При крупносерийном производстве требуется большое количество пазовых клиньев. Поэтому на многих заводах электропромышленности процесс заготовки клиньев механизирован. На рис. 165 показана схема станка для изготовления клиньев. Производительность станка свыше 10 тыс. клиньев за смену. Поперечное сечение клина образуется на станке с помощью профильной фрезы с несколькими канавками, имеющими форму клина. В зависимости от размеров клина и доски одновременно можно фрезеровать от пяти до восьми клиньев.

Фреза *1* укреплена на вертикальном шпинделе станка и фрезерует профили клиньев *3* на кромке доски *2*, которую продвигают по плите станка. За фрезой на горизонтальном шпинделе укреплена круглая пила *4*, которая отрезает клинья по всей длине доски. После отрезки клиньев доску вновь подают под фрезу и процесс продолжается. Полученные профилированные полоски разрезают на куски заданной длины на этом же станке. Горизонтальный шпиндель приводится во вращение с помощью

ременной передачи от электродвигателя, установленного на полу, а вертикальный — от другого двигателя, установленного на станине станка; установку вертикального шпинделя регулируют по высоте.

При изготовлении клиньев из текстолита, стеклотекстолита или гетинакса после резки заготовки из листа надо сделать на ней скосы для получения трапецеидального профиля клина. Эта работа производилась на поперечно-строгальном станке фасонным резцом. На рис. 166 показана схема полуавтомата Ново-Каховского электромашиностроительного завода, профилирующего 1000 клиньев в час. Заготовки клиньев *8* вкладывают в бункер *10*, из которого они снизу по одной сдвигаются до упора *15* и толкателем *6* подаются к двум резцам *14*, снимающим сразу обе фаски. Готовые клинья падают в в лоток *9*.

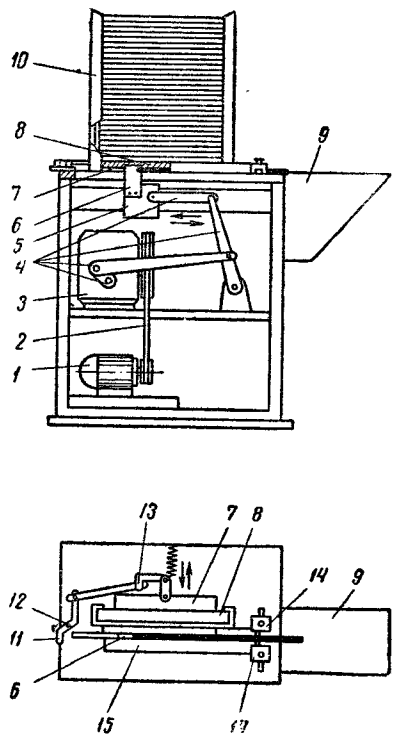


Рис. 166. Полуавтомат для строгания скосов клиньев

Возвратно-поступательные движения толкателю *6*, скрепленному с ползуном *5*, передаются через кулисный механизм *4*, приводимый в движение электродвигателем *1* через ременную передачу *2* и редуктор *3*. Ход ползуна вправо — рабочий, а влево — заготовительный. При движении влево толкатель нажимает на рычаг *11*, вращающийся вокруг неподвижной оси *12*. Второй конец рычага *11* шарнирно связан с системой тяг, поворачивающихся вокруг неподвижной оси *13*. Они сообщают возвратно-поступательные движения движку *7*, который подает заготовку в рабочее положение. Внедрение полуавтомата увеличило производительность труда в семь раз.

Недостатками деревянных клиньев является их низкая нагревостойкость, склонность к расслаиванию, выпадание из пазов при усыхании, непригодность для машин, работающих в тропических условиях. На Ереванском электротехническом заводе проведены опыты по замене деревянных клиньев пластмассовыми. Для машин общего применения используют пластмассу марки К-18-2, а для машин в тропическом исполнении —

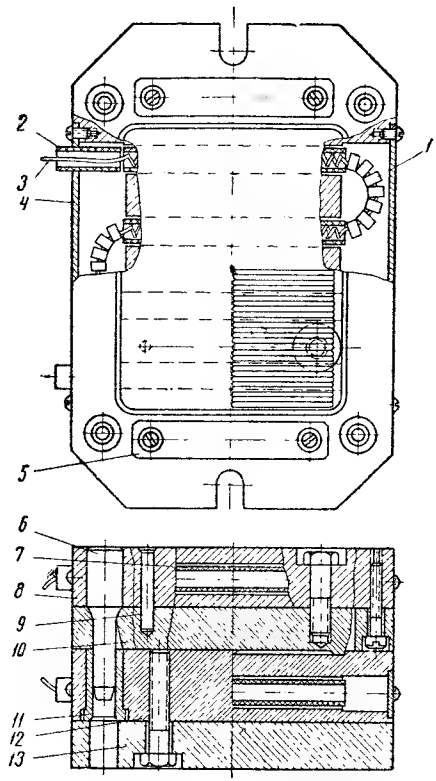


Рис. 167. Пресс-форма для пазовых клиньев

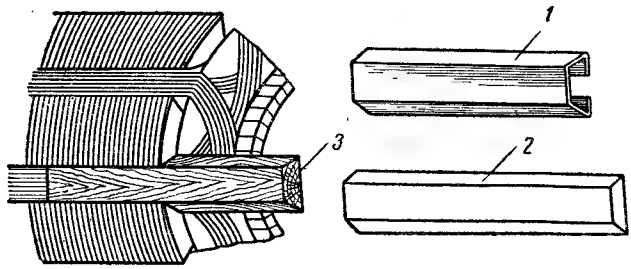


Рис. 168. Приспособление для забивки клиньев в пазы

К-18-42 с древесно-минеральным наполнителем. Клинья прессовали на 40-тонном гидравлическом прессе в специальной пресс-форме, рассчитанной на одновременную прессовку 96 пазовых клиньев статора электродвигателей типов АОЛ-11 и АОЛ-21. При продолжительности спекания 4 мин. пресс-форма обеспечивает выпуск за смену 400 комплектов клиньев по 24 шт. в комплекте.

Пресс-форма (рис. 167) состоит из матрицы *12*, закрепленной болтами в нижней плите *13*, и пуансона *10*, скрепленного при помощи болтов и штифтов *9* с верхней плитой *8*. Для фиксации положения пуансона относительно матрицы служат ко-

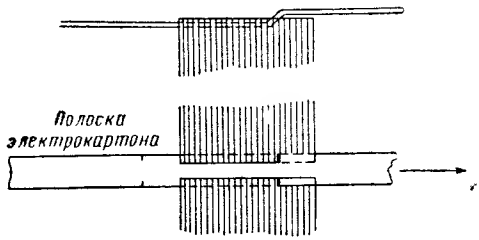


Рис. 169. Заклинивание пазов полоской картона

лонки *6*, которые скользят во втулках *11* матрицы. Верхняя плита и матрица имеют электрические нагреватели *3*, расположенные в каналах и изолированные от них изоляторами *7*. Выводы нагревательных спиралей пропущены через изоляторы *2*. Места переходов спиралей из одного канала в другой изолированы фарфоровыми брусами *1*. Выводы защищены крышкой *4*. Для ограничения хода пуансона служат упорные планки *5*. Для перехода от одной длины клиньев к другой достаточно сменить формующий пуансон.

Замена деревянных клиньев пластмассовыми дает возможность повысить нагревостойкость клиньев и производительность труда, а также экономить ценные породы древесины.

Пазовые клинья забивают в пазы вручную. Это очень трудоемкая работа. Для забивки клиньев рационализаторы-обмотчики предложили простое приспособление, состоящее всего из двух деталей — обоймы *1* и стержня *2* (рис. 168). Стальной стержень *2* вкладывают в обойму *1* и приставляют к нему торец деревянного клина *3*. В процессе забивки обойма упирается в крайний лист сердечника, а торец стального стержня выступает из нее. Ударяя по торцу стержня молотком, загоняют клин в паз. При этом он не расщепляется и не ломается. Кроме ускорения работы, это приспособление защищает обмотку от повреждений, которым она подвергалась при ударах молотка непосредственно по деревянному клину.

В микромашинах даже клин небольшой толщины занимает слишком много места в пазу, снижая коэффициент заполнения паза проводами. Поэтому для роторов микродвигателей часто деревянные клинья заменяют полоской электрокартона толщиной 0,5—0,8 *мм*. Полоску не забивают в паз, а протаскивают через прорезь полузакрытого паза, поэтому она не мнется и не сгибается.

Заклинивание пазов полоской электрокартона показано на рис. 169. На полоске, ширина которой немного меньше ширины паза в верхней его части, делают два надреза ножницами. После этого полоску сгибают в виде желобка, вдвигают ее в паз с торца ротора и затем протягивают через паз за прямую часть полоски, которая идет над ротором. После этого отрезают желобок от полоски, снова делают на ней ножницами два надреза и протягивают желобок через второй паз. Чтобы шейка ленты между надрезами не перерывалась, ширина прорези паза должна быть около 3 *мм*. Замена деревянных клиньев полосками электрокартона в несколько раз ускоряет процесс заклинивания пазов и, что особенно важно в микромашинах, повышает коэффициент заполнения паза проводами.

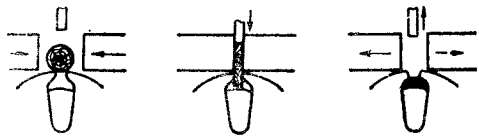


Рис. 170. Заклинивание пазов шнуром

При изготовлении пазовых клиньев из дерева или текстолита много материала идет в стружку. Кроме того, недостаток клиньев, как уже отмечалось, заключается в трудоемкой ручной работе при забивке их в пазы. Обоих этих недостатков можно избежать, заклинивая пазы пропитанным шнуром.

На рис. 170 показана схема этого процесса. Шнур подводится к пазу и сдавливается двумя пуансонами до толщины, несколько меньшей прорези паза. Затем третьим узким пуансоном он вдвигается в паз и заклинивает обмотку. После этого клин отрезается от шнура, который намотан в виде бухты, и процесс повторяется над другим пазом. Этот процесс может быть полностью механизирован. Такие станки применяют для заклинивания пазов статора электродвигателей единой серии третьего габарита. Они обладают высокой производительностью (свыше 80 пазов в минуту).

ГЛАВА XVII

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

§ 104. ВИДЫ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ

По плану электрификации страны предусмотрено увеличение выпуска электрических машин. Одновременно должно быть повышено качество машин, увеличен срок их службы, улучшены условия эксплуатации и ремонта, снижен простой оборудования вследствие аварий и непредвиденных выходов электрических машин из строя. Высокое качество электрических машин достигается улучшением их характеристик и конструкций, применением более совершенных изоляционных материалов и строгим соблюдением технологических процессов. В последние годы электромашиностроительные заводы удлиняют гарантийные сроки службы машин в два и более раза, что имеет огромное значение для экономики народного хозяйства.

Основное внимание при контроле и испытаниях должно быть обращено на проверку электрической прочности изоляции обмоток, потому что, как показывает опыт эксплуатации, подавляющее большинство аварий электрических машин происходит из-за нарушения изоляции между витками обмотки и между обмоткой и корпусом.

Контрольные операции служат для проверки соответствия обмотки чертежу и расчетной записке. В процессе контроля проверяют размеры катушки, ее сопротивление, сопротивление изоляции, отсутствие в обмотке обрывов, плохих контактов или замыканий между изолированными друг от друга проводами, правильность соединений отдельных элементов обмотки между собой, с пластинами коллектора или с выводными зажимами. Контрольные операции предусмотрены технологическим процессом на разных стадиях изготовления и укладки обмоток.

Однако одних контрольных операций еще недостаточно, чтобы судить о том, насколько электрическая машина будет надежной в работе. Из двух машин, прошедших контроль, одна

может проработать безотказно несколько лет, а другая выйдет из строя через несколько дней. Для проверки надежности служат испытания отдельных обмоток на разных стадиях производства и готовой машины перед выпуском ее с завода.

При испытаниях обмотки подвергают действию повышенных напряжений, токов, скоростей вращения, при этом выявляют и бракуют элементы обмоток с ослабленной изоляцией. На первых стадиях производства предусмотрены более высокие испытательные напряжения, чем при последующих испытаниях. Это объясняется тем, что сменить, например, одну катушку обмотки легче до пропитки якоря, чем после пропитки, а тем более после сборки машины.

Обмотки контролируют и испытывают в четырех стадиях производства и работы машин: после изготовления элементов обмотки; после укладки обмотки в пазы; после сборки машины; в процессе эксплуатации машины.

После изготовления элементов обмотки их контролируют и испытывают, чтобы не допустить укладки в пазы заведомо негодных катушек. Уложив обмотки в пазы, выявляют ослабления и нарушения изоляции, происшедшие в процессе укладки обмоток в пазы, так как это нельзя проверить в собранной машине. При испытаниях собранной машины проверяют надежность обмоток при повышенных скоростях вращения и под нагрузкой. Кроме того, при этом проверяют расположение обмоток и взаимодействие между ними и другими частями машины. Испытания в процессе эксплуатации машины служат для определения степени изношенности или старения изоляции. Они предупреждают аварийный выход машины из строя, который часто приносит во много раз больше убытков производству, чем стоит машина.

§ 105. КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ОБМОТОК

При проектировании всякой обмотки определяют ее размеры. Однако как обозначение этих размеров на чертежах, так и контроль их значительно отличаются от контроля механических деталей, например вала. Дело в том, что размеры поперечного сечения катушек составляются из суммы размеров многих проводов и многих слоев изоляции, из которых каждый имеет допуск по толщине; плотность их прилегания также может быть различной. При пропитке и особенно при компаундировании обмотки увеличиваются в объеме. Продольные контуры обмоток не могут быть строго прямолинейны. Поэтому к номинальным размерам на чертежах указывают допуски или вместо номинальных ставят наибольшие допустимые размеры со словами «не более».

Однако не на все размеры могут быть даны большие допуски. Такие размеры, как толщина и высота пазовой части катушки, дают на чертежах с жесткими допусками и проверяют специальными предельными калибрами. Действительный размер сечения катушки должен быть меньше ширины паза калибра, т. е. калибр должен в любом месте пазовой части катушки легко надвигаться на нее.

Чтобы проверить расстояние и центральный угол между пазовыми частями статорной катушки, применяют деревянные макеты, в которые вкладывают пазовые части катушки. Для проверки полюсных катушек изготовляют специальные шаблоны; их вдвигают во внутреннее окно катушки. Высоту катушки проверяют между параллельными плоскостями специального измерительного приспособления.

Для того чтобы выдержать размеры с указанными на чертеже допусками, предусматривают специальные операции в технологическом процессе; так, например, статорные катушки рихтуют в приспособлениях, пазовые части их прессуют в гидравлических прессах, полюсные катушки прессуют по высоте с одновременным расклиниванием внутреннего окна.

§ 106. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ

У каждой намотанной катушки и уложенной в пазы обмотки измеряют омическое сопротивление. У обмоток с большим сопротивлением измерение производят при помощи универсаль-

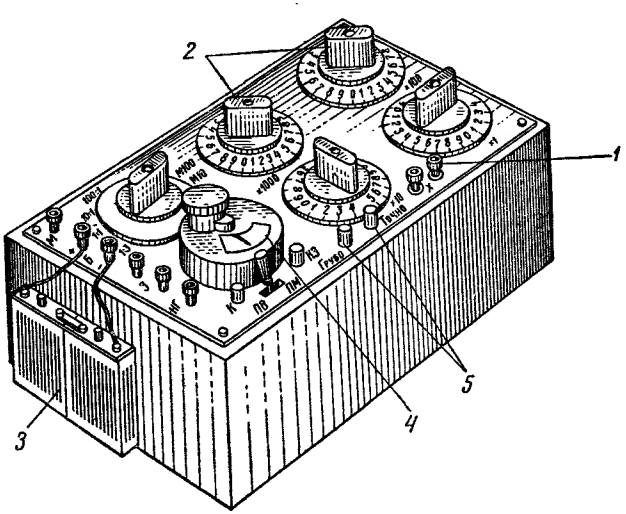


Рис. 171. Универсальный мост сопротивлений

ного моста, а у обмоток с малым сопротивлением — методом амперметра и вольтметра. Для этого через обмотку пропускают постоянный ток и одновременно замеряют величину тока и напряжения. Сопротивление обмотки по закону Ома равно частному от деления напряжения на ток.

На рис. 171 показан универсальный мост сопротивлений. Выводы измеряемой обмотки присоединяют к зажимам *1* моста, затем поворотом рукояток переключателей *2* сопротивлений подбирают сопротивление, близкое к расчетному сопротивлению обмотки. После этого нажимают одну из кнопок *5* с надписью «Грубо» и стрелка прибора отклоняется вправо или влево от среднего положения. На циферблате *4* имеется шкала с нулем посередине. Если стрелка отклоняется вправо от среднего положения, надо увеличить сопротивление и наоборот. После нескольких поворотов рукоятки стрелка при нажатии кнопки *5* с надписью «Точно» установится на нуль. Тогда по цифрам на дисках переключателей определяют сопротивление и сравнивают его с сопротивлением, указанным в обмоточной записке. Питание моста осуществляется от элементов *3*.

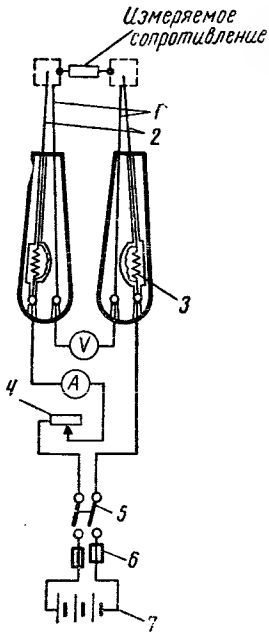


Рис. 172. Щупы для измерения сопротивления

В обмоточной записке нельзя указывать номинальное расчетное сопротивление обмотки, так как вследствие отклонений сечений провода и различной плотности намотки сопротивления отдельных катушек могут отличаться. Поэтому в обмоточных записках указывают допуск ±5—7%.

Для измерения сопротивления обмотки якоря методом амперметра и вольтметра пользуются специальными щупами (рис. 172), прижимая их к двум пластинам коллектора, удаленным на полюсное деление. Каждый щуп имеет две иглы. Одна из них *1* жестко связана с изоляционной колодкой, а другая *2* выдвигается спиральной пружиной *3*. К иглам *1* присоединен милливольтметр *V*, а к иглам *2* — цепь питания, состоящая из аккумуляторной батареи *7*, рубильника *5*, предохранителей *6*, амперметра *A* и реостата *4*. Реостатом устанавливают величину тока, при которой отклонения стрелок приборов будут заметны.

Двойные иглы щупов сделаны для предохранения милливольтметра от перегорания при случайном отключении одного из щупов от коллекторной пластины, когда на милливольтметр приходится все напряжение аккумулятора. При двойных иглах

милливольтметр отключится раньше, чем игла цепи питания, и опасность перегорания ему не угрожает. Кроме того, двойные иглы исключают влияние непостоянства сопротивления контактов игл питания на результаты измерения.

Чтобы измерить сопротивление обмотки, записывают показания приборов. Для перевода показаний приборов в вольты и амперы надо знать цену деления каждого прибора. Ценой деления называется частное от деления предела измерения на число делений шкалы. Например, если предел измерения милливольтметра 0,5 *в*, а шкала его имеет 200 делений, то цена одного деления будет $0{,}5 : 200 = 0{,}0025$ *в*. Для амперметра с пределом измерения 10 *а* и числом делений шкалы 200 цена деления будет $10 : 200 = 0{,}05$ *а*. Если при измерениях стрелка милливольтметра стояла на делении 120, а стрелка амперметра на делении 100, то сопротивление обмотки

$$R = \frac{120 \cdot 0{,}0025}{100 \cdot 0{,}05} = 0{,}06 \text{ ом}.$$

Как известно, сопротивление проводов зависит от температуры, повышаясь с нагревом провода. Чтобы можно было сравнивать сопротивления отдельных обмоток, их приводят к одной и той же температуре 75° С по формуле

$$R_{75} = R\,[1 + \alpha\,(75 - t)] \text{ ом}, \qquad (43)$$

где R — холодное сопротивление обмотки, *ом*;

t — температура, при которой производилось измерение, °С;

α — температурный коэффициент (для меди он равен 0,004).

Если измерение производили при температуре 15° С, то горячее сопротивление

$$R_{75} = 0{,}06\,[1 + 0{,}004\,(75 - 15)] = 0{,}074 \text{ ом}.$$

§ 107. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Сопротивление изоляции измеряют для обмоток, уложенных в пазы, по отношению к корпусу и между отдельными фазами. Сопротивление изоляции проверяют специальным прибором — мегомметром. Для низковольтных машин применяют мегомметр напряжением 500 *в*, для машин с номинальным напряжением выше 1000 *в* — мегомметры на 1000 или 2500 *в* (в зависимости от напряжения машины).

На рис. 173 показано устройство мегомметра. Внутри прибора находится генератор; его приводят во вращение ручкой *1*, расположенной сбоку футляра. К зажимам *3* присоединяют провода, один из которых подводят к зачищенному от грязи, краски и ржавчины участку на корпусе машины, а другой поочередно подводят к выводным концам обмотки. Затем вращают ручку прибора со скоростью около 120 *об/мин* и стрелка *2* показывает сопротивление изоляции в мегомах или килоомах. Для измерения сопротивления изоляции фазного ротора асинхронного двигателя с нулевой точкой внутри обмотки один провод подводят к валу двигателя, а другой — к контактным кольцам ротора.

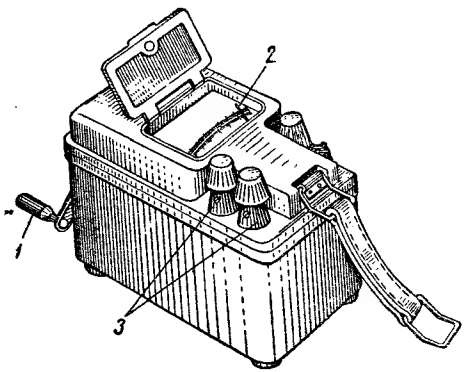


Рис. 173. Мегомметр

До начала измерения следует проверить исправность мегомметра. Для этого концы двух проводов замыкают накоротко и если при медленном вращении ручки показания прибора равны нулю, а при разомкнутых проводах мегомметр показывает бесконечно большое сопротивление, то значит прибор исправен.

По ГОСТ 183—55 сопротивление изоляции обмоток электрических машин по отношению к корпусу и сопротивление изоляции между обмотками должно быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$z = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}}, \qquad (44)$$

где U — номинальное напряжение обмотки, *в*;

P — номинальная мощность, *ква*.

Сопротивление изоляции зависит от температуры и влажности обмотки. Если сопротивление мало, обмотку надо просушить.

§ 108. КОНТРОЛЬНЫЕ АППАРАТЫ СМ

Для контроля обмоток на отсутствие в них замыканий, обрывов, плохих контактов и неправильных соединений долгое время пользовались различного рода электромагнитными устройствами, которые не давали гарантии, что обнаружены все неисправ-

ности, и требовали очень много времени на контрольные операции. Контроль обмоток всех типов электрических машин был значительно усовершенствован после разработки во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина аппаратов СМ. Применение новых аппаратов позволило увеличить пропускную способность контрольных станций на заводах и повысить качество контроля.

Аппарат СМ питается от сети переменного тока и посылает в испытуемую обмотку волну импульса с амплитудой до 600 *в* при токе в несколько миллиампер. На экране электронно-лучевой трубки появляется свечение в виде яркой точки. С помощью двух вертикальных пластин луч развертывается в светящуюся полосу.

Две горизонтальные пластины, к которым присоединяют две ветви испытуемой обмотки, заставляют луч колебаться в вертикальном направлении, и на экране появляется кривая. При неисправностях в одной из двух ветвей обмотки на экране появляется изображение двух кривых. Если неисправности обмотки различны (междувитковое замыкание, обрыв, плохой контакт, неправильное соединение катушек, различные числа витков), то появляются кривые разной формы, что при известном опыте производящего контроль позволяет быстро определить характер неисправности.

Внешний вид аппарата СМ-1 показан на рис. 174, *а*. В нижней части передней стенки расположены две пары гнезд для присоединения испытуемых обмоток. Гнезда *6* имеют обозначение «Импульсы», гнезда *8* — «Пластины явления». Над гнездами расположены выключатели, а между экраном и включателями — три ручки настройки. Ручкой *1,* имеющей надпись «Импульсный контур», регулируют напряжение, подаваемое на испытуемые обмотки; ручкой *2* с надписью «Фокус» регулируют резкость луча на экране; ручкой *10* с надписью «Емкость симметрии» можно устранить естественную несимметрию испытуемых обмоток.

У аппарата СМ-2 меньшие размеры и вес (примерно в 1,5 раза), чем у аппарата СМ-1. Это делает его удобным для переноски, но зато он имеет небольшие размеры экрана, позволяющего видеть изображение на расстоянии не более 1 *м*.

Аппараты СМ имеют следующие преимущества перед ранее применявшимися громоздкими электромагнитными установками:

возможность быстро и точно обнаруживать неисправности как в процессе изготовления обмоток, так и после их укладки в пазы;

универсальность аппаратов, позволяющая применять их для контроля обмоток электрических машин постоянного и переменного тока мощностью от нескольких ватт до сотен киловатт;

небольшие вес и габариты, делающие аппараты (особенно СМ-2) портативными;

возможность контролировать обмотки электрических машин без разборки их;

простота управления аппаратами, позволяющая работать на них рядовому контролеру или опытному обмотчику.

Напряжение на выходе аппарата может подниматься до 560 *в*,

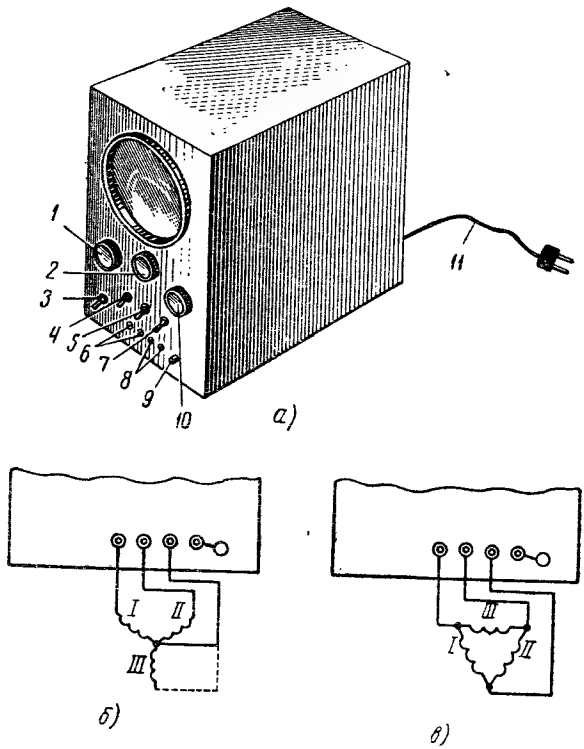


Рис. 174. Проверка трехфазных обмоток аппаратом СМ-1:

а — внешний вид аппарата, *б* — проверка обмотки, соединеиной в звезду, *в* — проверка обмотки, соединиеиной в треугольиик

поэтому при работе с ним надо выполнять следующие требования техники безопасности:

нельзя вскрывать аппарат, не отключив его от сети;

до присоединения прибора к источнику питания его зажим *9* («Земля») необходимо надежно заземлить;

нельзя браться за оголенные концы проводов, когда они находятся под напряжением.

§ 109. КОНТРОЛЬ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Перед началом контроля надо включить аппарат СМ в сеть, предварительно проверив соответствие напряжения сети указанному на футляре и в паспорте аппарата. Шнур питания сначала присоединяют к аппарату, а затем к сети. У аппаратов выпуска 1956 г. и позднее на передней стенке футляра имеется выключатель с надписью «Сеть», которым включают и выключают питание аппарата. После включения надо подождать не менее 1 мин. для прогрева ламп и трубки. Преждевременное включение анодного напряжения может вывести лампы из строя.

После прогрева включают анодное напряжение, повернув вниз ручку выключателя *5* (рис. 174, *а*). Появившийся на экране луч наводят на фокус, поворачивая вправо или влево ручку *2* и добиваясь, чтобы на экране была резкая, а не расплывчатая линия. Концы двух фаз трехфазной обмотки соединяют с гнездами *6*, а среднюю точку — с одним из гнезд *8*. Длина проводов должна быть не более 4 *м*; сечения и марки проводов должны быть одинаковыми, чтобы не возникала естественная несимметрия.

После этого выключателем *7*, повернув ручку вниз, включают синхронный переключатель. Поворотом ручки *1* подают на испытуемые обмотки импульсное напряжение необходимой величины. При этом на экране вместо нулевой линии появляется одна кривая, если обмотки исправны, и две кривых — при наличии в них дефектов. В случае надобности поворотом ручки *10* устраняют естественную несимметрию испытуемых обмоток.

На рис. 174, *б* пунктиром показано, что при отсутствии в обмотке выведенной нулевой точки к гнезду *8* присоединяют конец третьей фазы, которая в данном случае служит проводом. На рис. 174, *в* показано присоединение к аппарату обмотки, соединенной в треугольник. Для проверки всех трех фаз надо поочередно менять их местами.

При испытании обмоток с малым числом витков частота их собственных колебаний получается очень высокой и при сравнительно медленной развертке луча наблюдаемые на экране затухающие кривые имеют очень острые пики, поэтому при наличии в обмотках дефектов трудно заметить раздвоение кривых. В таких случаях следует ускорить развертку луча, для чего ручку выключателя *4* надо повернуть вниз (рис. 174, *а*).

Пока не снято импульсное напряжение, нельзя допускать замыкания проводов, подводимых к гнездам *6* аппарата, так как это может привести к перегоранию электронных ламп. При коротких перерывах в работе выключают анодное напряжение, подняв вверх ручку выключателя *5* (рис. 174, *а*), и выключают синхронный переключатель ручкой выключателя *7*. Аппарат можно не выключать, чтобы при возобновлении работы не тратить время на разогрев ламп. При длительных перерывах и после окон-

чания работы аппарат надо выключить, чтобы продлить срок службы ламп. Выключают аппарат в таком порядке: выключают анодное напряжение выключателем *5*, выключают синхронный переключатель выключателем *7*, отключают питание выключателем с надписью «Сеть» и вынимают вилку из розетки осветительной сети.

Как видно на рис. 174, *б* и *в*, для контроля обмоток необходимо подключать к аппарату две одинаковые фазы, ветви или катушки. При наличии в одной из фаз короткозамкнутых витков на экране появляется раздвоенная кривая, причем расхождение между кривыми небольшое. Если же в одной из фаз имеется обрыв, то вторая кривая будет почти совпадать с нулевой линией.

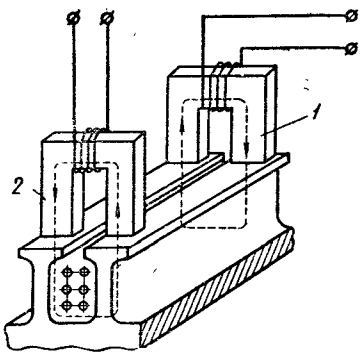


Рис. 175. Нахождение паза с дефектной катушкой

При обнаружении в фазе короткозамкнутых витков необходимо установить, в каком пазу находятся эти витки. Для этого к аппаратам СМ прикладывают специальное приспособление, состоящее из двух электромагнитов с намотанными на них катушками. Обмотка электромагнита *1* (рис. 175) состоит из 100 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,41 *мм*, обмотка электромагнита *2* — из 2000 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 *мм*. Сердечники магнитов П-образной формы набраны из трансформаторной стали. Электромагниты устанавливают над одним и тем же пазом.

Ввиду того что длины сердечников бывают разные, расстояния между электромагнитами можно изменять путем передвигания их вдоль немагнитной планки, которой они скрепляются. Выводные концы обмотки электромагнита *1* подключают к гнездам *6* (рис. 174, *а*), а концы обмотки электромагнита *2* — к гнездам *8* аппарата СМ. При отсутствии в данном пазу короткозамкнутых витков на экране аппарата появляется одна кривая, близкая к нулевой линии. При наличии короткозамкнутых витков на экране появляются две кривые, одна над нулевой линией, другая под ней.

Если в обмотке статора или ротора имеются параллельные ветви, то соединения между ними образуют естественные короткозамкнутые контуры. При нахождении пазов с короткозамкнутыми витками с помощью двух электромагнитов эти короткозамкнутые контуры улавливаются аппаратом. На экране появляются

раздвоенные кривые, хотя в действительности короткозамкнутых витков в этих пазах нет.

Раздвоенные кривые появляются с определенной последовательностью в зависимости от схемы обмотки, но амплитуды их значительно меньше, чем при действительном коротком замыкании витков. Поэтому можно определить пазы с замкнутыми витками. Кроме того, раздвоенные кривые при этом появляются без всякой закономерности. В условиях производства обмотки с параллельными ветвями проверяют на витковые замыкания до соединения параллельных ветвей с помощью двух электромагнитов.

При контроле трехфазных обмоток статора асинхронных двигателей наблюдались случаи, когда аппарат обнаруживал в обмотке некоторые катушки, намотанные из провода другого сечения или с неправильным числом витков.

Для обмоток из эмалированных проводов контроль аппаратом СМ при напряжении 560 *в* может считаться испытанием электрической прочности эмалевой витковой изоляции.

§ 110. КОНТРОЛЬ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ

При контроле обмоток якорей необходимо выполнять правила включения и выключения аппаратов СМ, изложенные в § 109. Контроль обмотки якоря заключается в нахождении витковых замыканий, неправильных соединений концов обмотки с коллектором, пробоя изоляции на корпус, катушек с неправильным числом витков и обрывов. Если присоединить две коллекторные пластины, расположенные на коллекторе под углом 90°, к гнездам *6* аппарата СМ, а среднюю между ними пластину — к одному из гнезд *8* (см. рис. 174, *а*), то при петлевой обмотке получим схему, аналогичную трехфазной обмотке, соединенной в треугольник (см. рис. 174, *в*).

Так как во всех секциях, лежащих в одном пазу, одинаковое число витков, то для соединения с аппаратом можно взять любые три коллекторные пластины, охватывающие центральный угол 90°, т. е. одну четверть коллектора. При наличии в одной из ветвей обмотки витковых замыканий и других дефектов на экране появляются раздвоенные кривые. Для полного контроля всей петлевой обмотки якоря необходимо эту операцию повторить для каждой четверти коллектора, т. е. повторить прием четыре раза.

В целях экономии времени можно петлевую обмотку проверить и в два приема, но для этого надо делить коллектор на три части и контакты от аппарата устанавливать на трех коллекторных пластинах, расположенных друг относительно друга под углом 120°. Тогда обмотка будет соединена в равносторонний тре-

угольник, как и трехфазная обмотка при соединении в треугольник.

В волновых обмотках распределение коллекторных пластин между параллельными ветвями более сложное и аналогии со схемой треугольника нет. При контроле якоря четырехполюсной машины поступают следующим образом. Соединяют с гнездами аппарата СМ три коллекторные пластины, охватывающие центральный угол 90°, и следят за изображением на экране. При наличии дефектов на экране видны две кривые. Но при таком контроле на коллекторе остаются так называемые зоны нечувствительности. Для контроля витков обмотки, попадающих в эти

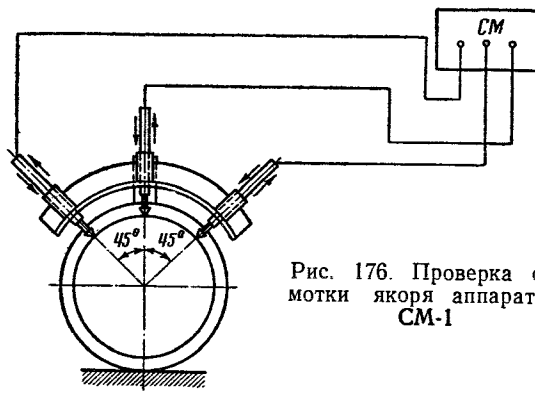


Рис. 176. Проверка обмотки якоря аппаратом СМ-1

зоны, надо сдвинуть все три контакта приблизительно на $^1/_{16}$ часть окружности коллектора, не меняя расстояния между ними. Таким образом, якорная волновая обмотка может быть проверена в два приема. Аналогично может быть проконтролирована обмотка четырехполюсного якоря с лягушечьей обмоткой.

Для ускорения контроля якорных обмоток применяют простое приспособление, представляющее собой изоляционную дугу (рис. 176), в которой установлены три контакта, расположенные точно под углом 45° друг к другу. Эти контакты соединяют проводами с гнездами аппарата СМ, что дает возможность одному контролеру быстро проверять якоря. Чтобы не делать такого приспособления для каждого якоря, контакты можно передвигать в радиальном направлении в зависимости от диаметра коллектора. Для того чтобы избежать нарушения симметрии, допускается перекос контактов не более $^1/_4$ толщины коллекторной пластины.

В обмотках с уравнительными соединениями, как и в трехфазных обмотках с параллельными ветвями, есть естественные замкнутые контуры, создающие раздвоение кривых на экране. Поэтому пазы с замкнутыми витками следует находить с помощью П-образных магнитов (см. рис. 175). Этими же магнита-

ми пользуются и для обмоток без уравнительных соединений для точного определения паза, в котором находятся короткозамкнутые витки.

§ 111. КОНТРОЛЬ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Полюсные катушки надо проверять как после намотки, так и после установки их на роторе синхронной машины или в станине машины постоянного тока. Чтобы проверить катушки, их соединяют попарно аналогично двум фазам обмотки статора (см. рис. 174, *б*). Если на экране появятся две кривые вместо одной, это значит, что одна из катушек имеет витковые замыкания, обрыв или неправильное число витков. Формы кривых при каждом из этих дефектов различны. Аппарат не может выявить лишь одинаковые дефекты в обеих катушках, но такой случай маловероя-

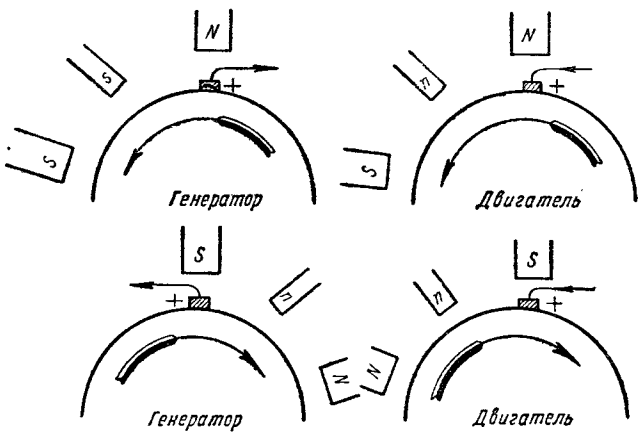


Рис. 177. Чередование полярности полюсов

тен. В многополюсных машинах для ускорения контроля в собранной станине или роторе можно сразу проверить все катушки, разделив их на две ветви, и применять попарный контроль только при обнаружении несимметрии ветвей.

При сборке шунтовых катушек с тонкими соединительными проводами часто наблюдается неправильная полярность отдельных полюсов. Аппаратом СМ это можно обнаружить на месте, не перевозя тяжелую станину на испытательную станцию. На рис. 177 показаны чередования главных и дополнительных полюсов машин постоянного тока при работе их в качестве двигателей и генераторов с правым и левым вращением. Эти схемы составлены для машин с наиболее распространенными правыми петлевыми или левыми волновыми обмотками якоря. При правой вол-

новой или левой петлевой обмотках на этих схемах надо изменить знак щетки плюс на минус.

У полюсных катушек может быть небольшая естественная несимметрия вследствие неодинаковой прессовки или пропитки, влияющих на емкость между витками. Аппарат может улавливать эту несимметрию, но раздвоение кривых при этом значительно меньше, чем при витковых замыканиях или обрывах.

§ 112. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Наибольшее число случаев выхода из строя высоковольтных машин приходится на пробивание витковой изоляции обмоток. Однако до последнего времени она не подвергалась требуемым испытаниям ни до укладки в пазы, ни после укладки. Требования ГОСТ 183—55 сводятся к испытанию витковой изоляции напряжением, повышенным против номинального на 30%. Это испытание проводят над собранной машиной в двигателях путем повышения подводимого напряжения, в генераторах путем повышения скорости вращения. Между тем, как показали исследования, в процессе эксплуатации витковая изоляция обмотки подвергается значительно более высоким перенапряжениям.

Существующие на некоторых заводах импульсные установки для испытания витковой изоляции до укладки катушек в пазы громоздки и не обеспечивают надежной работы машины в эксплуатации. В процессе укладки катушек в пазы часто витковая изоляция повреждается в тех местах, где она несколько ослаблена в процессе изготовления катушек. Эти повреждения выявляются при испытаниях собранной машины только в том случае, если существует металлический контакт между проводами катушки. Если же изоляция только ослаблена, то это остается не обнаруженным, машина поступает к потребителю с дефектной изоляцией и преждевременно выходит из строя. Чтобы избежать этого, надо проверять витковую изоляцию повышенным напряжением не только до укладки в пазы, но и после укладки, а также в процессе эксплуатации при очередных ревизиях машин.

В последние годы во Всесоюзном электротехническом институте им. В. И. Ленина разработано и внедрено несколько типов высоковольтных импульсных установок для испытания витковой изоляции напряжением до 1500 *в* на виток.

Для работы на производстве и в эксплуатации наиболее удобна переносная установка С-5П-ВЭИ. Она выполнена из отдельных блоков: пульта управления, трансформатора, импульсного генератора, П-образного электромагнита, сигнального устройства, амплитудного вольтметра, повышающего высоковольтного трансформатора, высоковольтных щупов и замкнутых электромагнитов.

При испытании витковой изоляции в процессе эксплуатации (рис. 178, *б*) П-образные магниты *М1* и *М2* ставят над пазом, в котором лежит испытуемая обмотка. Импульсный ток, протекающий по обмотке электромагнита *М1*, создает импульсный магнитный поток, который замыкается через листы статора. Этот поток наводит в проводах обмотки импульсные междувитковые напряжения, которые регулируются автотрансформатором и измеряются амплитудным киловольтметром. Для подключения последнего прокалывают изоляцию между катушками острыми щупами.

При отсутствии пробоя изоляции между витками обмотки стрелка миллиамперметра сигнального устройства, подключенного к обмотке электромагнита *М2*, не отклонится.

При испытании витковой изоляции катушки до укладки в пазы (рис. 178, *в*) конденсатор разряжается на обмотку электромагнита *ЭМ1* и в нем создается импульсный поток, который индуктирует напряжения в катушках, вложенных внутрь электромагнитов. При отсутствии пробоя витковой изоляции стрелка милливольтметра находится вблизи нуля благодаря наличию емкостных токов.

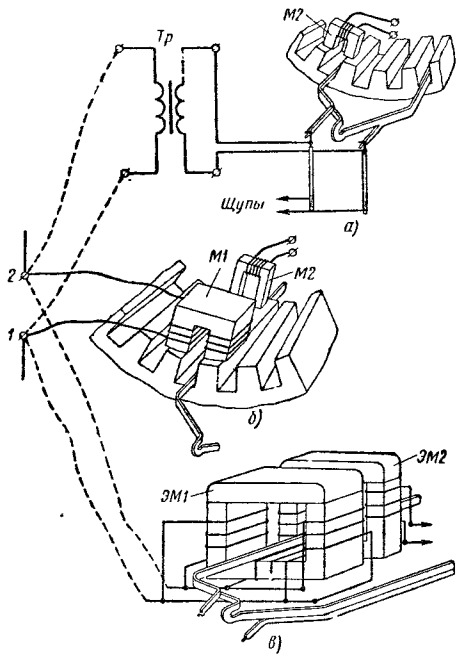


Рис. 178. Схема установки С-5П-ВЭИ:
а — испытание после укладки в пазы, *б* — испытание в процессе эксплуатации, *в* — испытание до укладки в пазы

При испытании витковой изоляции после укладки в пазы (рис. 178, *а*) конденсатор разряжается на первичную обмотку повышающего высоковольтного трансформатора. Импульсное испытательное напряжение подается на испытуемую катушку от вторичной обмотки трансформатора при помощи высоковольтных щупов. Контрольный электромагнит *М2* устанавливают над одним из двух пазов, в которых лежат стороны испытуемой катушки. Разделив измеренную величину импульсного напряжения на число витков, получим напряжение на один виток.

§ 113. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Каждую обмотку и готовую машину подвергают испытанию на электрическую прочность корпусной изоляции. Для каждого вида обмоток существуют отдельные нормы испытаний. Эти нормы преследуют основную цель — не допустить укладку в пазы обмотки с ослабленной или поврежденной изоляцией. Всякую обмотку электрической машины испытывают не менее трех, а иногда и пяти раз.

Чтобы не перегружать изоляцию обмотки при повторных испытаниях, нормы предусматривают снижение последующих испытательных напряжений по сравнению с предыдущими. Например, для статорной обмотки машины с рабочим напряжением 10 500 *в* изоляцию каждой катушки испытывают напряжением 35 000 *в*, изоляцию уложенной в пазы и соединенной обмотки — напряжением 28 000 *в*, готовую машину после прогрева — напряжением 22 000 *в*. Величина испытательного напряжения $U_и$ для статорных обмоток машин переменного тока напряжением U, равным 6 *кв* и менее, определяется по формуле

$$U_и = 2{,}75\,U + 5\ кв, \qquad (45)$$

а для машин напряжением U свыше 6000 *в* величина испытательного напряжения изоляции статорной обмотки повышается до

$$U_и = 2{,}75\,U + 7\ кв. \qquad (46)$$

При испытании на пробой изоляции отдельных катушек необходимо создать проводящий слой на наружной поверхности изоляции. Этот слой, будучи соединен с землей, создает условия, имитирующие условия работы изоляции в машине. При крупносерийном производстве, когда через испытательную станцию проходит несколько сотен обмоточных изделий, этот вопрос имеет существенное значение.

Наиболее распространенный и простой способ состоит в том, что на поверхность изоляции накладывают тонкую фольгу, которую прикрепляют к катушкам полотняной лентой. Этот способ хотя и прост, но трудоемок и связан с большим расходом материалов. Поэтому применяют стальные фрезерованные коробки, в которые закладывают пазовые части катушек. Коробки универсальной конструкции с раздвижными стенками позволяют испытывать в них катушки с различными размерами сечения и длины пазовой части. Для стержней роторных и якорных обмоток применяют многогнездные металлические плиты.

Оборудованный высоковольтный стенд для испытания корпусной изоляции имеет специальное место, на которое укладывают катушки или стержни. Оно состоит из металлических вертикальных стоек и горизонтальных полок, имеющих хорошее заземление. Все выводные концы соединяют между собой тонкой

медной проволокой и конец проволоки присоединяют к незаземленному полюсу испытательного трансформатора. Продолжительность испытания не должна быть более 1 мин.

На рис. 179 показана принципиальная схема высоковольтного стенда, который состоит из испытательного трансформатора, пульта управления и рабочего места для испытуемых обмоток. Включение главного рубильника производят вручную, оперативное включение питающей цепи осуществляют посредством маг-

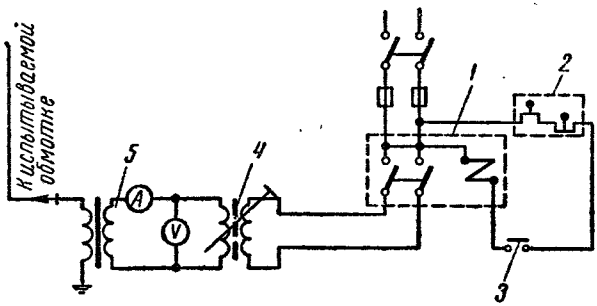


Рис. 179. Схема высоковольтного стенда

нитного пускателя *1* с кнопочным управлением *2*. В схеме имеется дверной контакт *3*, который выключает трансформатор, если кто-нибудь из посторонних откроет дверь во время испытаний. Контрольные приборы включены в цепь низкого напряжения. Плавную регулировку напряжения производят индукционным регулятором *4*.

В случае пробоя изоляции стрелка вольтметра в первичной цепи *5* испытательного трансформатора возвратится на нуль.

При производстве испытаний обслуживающий персонал должен строго соблюдать правила техники безопасности для работы с высоковольтными установками. Диэлектрические коврики, галоши, перчатки и штанги надо периодически проверять на электрическую прочность.

§ 114. ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА ПАЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

Головки стержневых обмоток статора турбо- и гидрогенераторов являются очень ответственными и сложными паяными соединениями. Несколько десятков элементарных проводов должны быть надежно соединены внутри хомутика. Для этого необходимо, чтобы расплавленный припой проник между всеми элементарными проводами стержня. Чрезвычайно сложным является контроль качества паяния. Пробовали применять различные методы контроля, например измерение переходного сопротивления, падения напряжения в головках и окраску головок термокраска-

ми. Но все они не гарантировали надежной проверки качества паяния. Наиболее надежно определение качества паяния при помощи ультразвука методом непрерывного излучения. Для контроля головок сконструированы специальные клещи со щупами (рис. 180) и ламповый генератор в виде приставки к ламповому вольтметру. Щупы *5* представляют собой втулки из органического стекла с вмонтированными в них пьезоэлектрическими пластинками титаната бария, рабочая сторона которых защищена маслостойкой резиной. Щупы прикреплены к рычагам *4,* соединенным шарниром *2,* и находятся в разомкнутом состоянии под действием пружины *3.* В процессе работы их держат за изолированные ручки *1,* сквозь которые проходят шланговые провода.

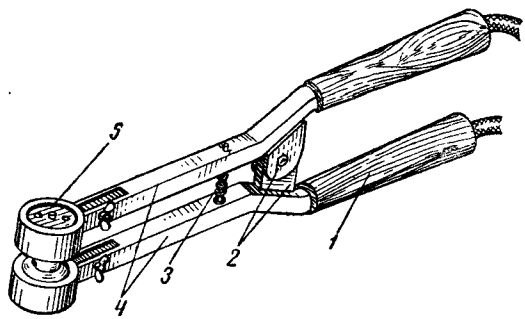


Рис. 180. Клещи со щупами для проверки головок обмотки ультразвуком

Щуп, работающий в качестве излучателя, присоединен высокочастотным проводом к генератору, а щуп, являющийся приемником, — к ламповому вольтметру. Излучаемые ультразвуковые колебания частотой 0,5 *Мгц* проходят через головку стержня и вызывают электрические колебания в приемной пластинке, э. д. с. которой измеряется ламповым вольтметром. При наличии непропаянных мест повышается рассеяние ультразвуковых волн и уменьшается э. д. с. приемной пластинки.

Оценка качества паяния производится по эталону, представляющему собой сплошной кусок меди, по форме и размерам соответствующий головке стержневой обмотки. Среднеарифметическое из показаний вольтметра в отдельных местах головки сравнивают с показаниями вольтметра при прозвучивании эталона. Надежность метода контроля проверялась осмотром разрубленных после прозвучивания паяных головок, причем во всех случаях результаты измерений подтверждались.

ГЛАВА XVIII

ИСПРАВЛЕНИЕ И ПЕРЕСЧЕТЫ ОБМОТОК

§ 115. СЕРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Эксплуатация электрооборудования связана с периодическими осмотрами и ремонтами его изношенных и вышедших из строя объектов. Поэтому на всех промышленных предприятиях организованы электроремонтные цехи. При расширении объема производства эти цехи разрастаются и по объему работ становятся соизмеримыми с основными цехами предприятия.

Так, например, на крупных металлургических заводах создаются электромеханические производства, повторяющие все функции электромашиностроительных заводов. Условия их работы затруднены тем, что приходится ремонтировать чрезвычайно разнообразные типы электрических машин и аппаратов как отечественного производства, так и иностранных фирм. Естественно, что себестоимость продукции в таких производствах очень высока и бывает даже так, что стоимость ремонта превосходит стоимость новой машины.

Чтобы снизить расходы на эксплуатацию электрооборудования, стали создавать специальные электроремонтные заводы. Такие заводы были организованы в крупных промышленных центрах.

Для организации ремонтного производства на научной основе требуется наличие статистических данных о частоте выходов из строя отдельных машин, заготовка материалов, полуфабрикатов, деталей и узлов для ускорения и удешевления ремонта и снижения простоев на производстве. Это было очень трудно сделать при существовавшем в эксплуатации многообразии электрооборудования.

Положение резко изменилось в послевоенные годы, когда в электромашиностроении стали внедрять в производство единые серии электрических машин. До 1950 г. электропромышленность

выпускала 9 разрозненных серий асинхронных электродвигателей в диапазоне мощностей от 1 до 100 *квт*. Эти серии проектировались на разных заводах, имели различные конструкции и технологию. Не было единой шкалы мощностей, поэтому строились двигатели, близкие по мощности, но с разными установочными размерами, что затрудняло их замену. В этих сериях не было закрытого исполнения, и если нельзя было использовать защищенные двигатели, их превращали в закрытые без вентиляции, причем мощность снижалась более чем вдвое.

В 1950 г. была внедрена единая серия асинхронных двигателей в двух исполнениях: брызгозащищенном продуваемом А и закрытом обдуваемом АО, причем установочные размеры обоих исполнений одинаковы. Все двигатели строят со стандартизованной шкалой мощностей. В связи с внедрением единой серии были сняты с производства девять старых серий, а число типоразмеров двигателей сократилось со 179 до 17. В дальнейшем был внедрен в производство второй отрезок серии в диапазоне мощностей от 100 до 1000 *квт*, заменивший шесть старых серий.

Синхронные машины, которые раньше представляли собой обособленные от асинхронных конструкции, после внедрения единых серий стали выпускаться как модификации асинхронных, имеющие одинаковую конструкцию статоров, подшипников, коробок выводов и др.

Взамен устаревших серий разработана единая серия машин постоянного тока в диапазоне мощностей от 0,3 до 200 *квт*, которой присвоено обозначение П. Машины постоянного тока мощностью свыше 200 *квт* выпускают в виде модифицированной серии П-100, имеющей четыре габарита.

Внедрение единых серий сказалось и на ремонте их. В старых сериях асинхронных двигателей мощностью до 100 *квт* было много типов обмоток, несколько марок и сотни размеров обмоточных проводов, десятки сортов изоляционных материалов. В единой серии А и АО во всех типах двигателей обмотки статора выполняют из мягких катушек круглого провода ПЭЛБО. Разработана единая конструкция изоляции и технология пропитки. Один и тот же провод применяют в обмотках нескольких типов двигателей путем изменения числа параллельных проводов и параллельных ветвей обмоток. Благодаря этому номенклатура проводов всех двигателей основного исполнения серии ограничивается 20 диаметрами.

За 15-летний период со времени пуска в производство единой серии двигатели старых серий уже износились и теперь номенклатура двигателей, находящихся в эксплуатации, резко сократилась. Это дало возможность организовать на ремонтных заводах производство по образцу электромашиностроительных заводов. Ремонтные заводы имеют обмоточные данные серий, что позволяет заранее заготовить катушки обмоток, нарезать комп-

лекты изоляции, пазовые клинья. Это ускоряет и удешевляет производство ремонта.

В данной главе рассматриваются вопросы устранения неисправностей в обмотках в процессе их производства на заводах. Эти неисправности, как правило, обнаруживают при контроле и испытаниях обмоток, описанных в предыдущей главе, и возвращают обмотки в обмоточный цех для исправления.

§ 116. ИСПРАВЛЕНИЕ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА

Всыпные обмотки статора выполняют из тонких проводов круглого сечения, поэтому в них могут быть неисправности, которых нет в обмотках из жестких катушек. К таким неисправностям относятся обрывы, перехлестывания проводов в пазу, перепутывание концов катушек при соединениях. Характер исправления определяется не только видом неисправности, но и конструкцией обмотки, а также стадией ее изготовления.

Так, например, всыпные обмотки после пропитки, когда провода их склеены лаком, не поддаются частичной замене катушек и в случае обнаружения неисправности перематываются заново. В однослойных обмотках, особенно концентрических, при ремонте можно заменить дефектную катушку. В двухслойных обмотках, чтобы вынуть из пазов неисправную катушку, надо поднять из пазов верхние стороны других катушек, охватывающих шаг обмотки. Относительно легко исправить неправильные соединения катушечных групп без выемки катушек из пазов. Поэтому схему проверяют до паяния соединений и до пропитки обмотки.

Наиболее часто встречающаяся неисправность всыпных обмоток статора заключается в неправильной маркировке выводных концов, ведущей к опрокидыванию фазы при соединении машины с сетью. Поэтому у каждого неисправного двигателя, возвращенного с испытательной станции, следует прежде всего проверить правильность маркировки выводов. Это можно сделать аппаратом СМ, кроме того, имеются многочисленные приборы, разработанные на различных предприятиях, для быстрого определения маркировки.

§ 117. ИСПРАВЛЕНИЕ ЖЕСТКИХ КАТУШЕЧНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА

Если в процессе испытания на пробой обмотки статора (см. рис. 91), уложенной в пазы, пробивается изоляция по отношению к корпусу одной или нескольких катушек, то разрешается заменить неисправные катушки при условии, что для замены будет поднято из пазов не более 70% всех катушек. В противном случае весь статор обматывают заново.

Замену пробитых катушек производят в такой последовательности. Чтобы вынуть поврежденную катушку, надо поднять из пазов верхние стороны катушек, охватывающих шаг обмотки по пазам. Для этого необходимо снять изоляцию междукатушечных и междуфазовых соединений, бандажи, которыми лобовые части прикреплены к бандажным кольцам, удалить буковые распорки между лобовыми частями и распаять соединения по шагу обмотки. Катушки, которые нужно поднять из пазов, разогревают пропусканием постоянного тока до температуры 75—90° С на поверхности катушек. После этого поднимают верхние стороны катушек по шагу обмотки при помощи деревянных клиньев, осторожно отгибают их внутрь статора и привязывают к лобовым частям уложенных катушек киперной лентой.

Затем вынимают из пазов пробитую катушку и осматривают пазы статора. Если в пазах обнаруживают заусенцы, их снимают напильником и продувают пазы сжатым воздухом из шланга. В пазы вкладывают новую катушку, нагретую до температуры 75—90° С, и осаживают ее легкими ударами молотка по деревянной осадочной доске, приложенной к катушке по всей длине пазовой части. Лобовую часть катушки рихтуют деревянным молотком. Нижние стороны лобовых частей катушки привязывают к бандажным кольцам крученым шнуром. Между лобовыми частями забивают дистанционные прокладки. В случае повреждений покровной ленты на верхних сторонах катушек ленту снимают и вновь изолируют лобовые части.

После этого опускают в пазы поднятые катушки, выравнивая выводные концы в горячем состоянии. Пазы заклинивают с двух сторон статора одновременно. Уложенную обмотку испытывают на электрическую прочность корпусной и витковой изоляции. В случае пробоя изоляции снова производят ремонт, однако каждую катушку можно поднимать из пазов не более трех раз. Затем паяют и изолируют соединения и всю обмотку пофазно испытывают на пробой между витками и относительно корпуса. Статор покрывают лаком.

§ 118. ИСПРАВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК СТАТОРА

Для укладки в пазы статора поступают стержни, которые предварительно были проверены на отсутствие замыканий между элементарными проводами и испытаны на пробой изоляции по отношению к корпусу. Ввиду того что устранение неисправностей стержневых обмоток является трудоемкой операцией, изоляцию испытывают пооперационно в процессе укладки в пазы каждой катушечной группы, стержней нижнего ряда и стержней верхнего ряда, до и после паяния соединений в головках и окончательно при сдаточных испытаниях готового статора.

Приведем последовательность и содержание работ по исправлению стержневых обмоток при укладке в пазы.

Если при испытаниях после укладки стержней нижнего ряда произошел пробой изоляции кронштейна (см. рис. 139) или перекрытие с обмотки на кронштейн или на нажимное кольцо статора, то надо срезать бандажи, удалить дистанционные прокладки и снять кронштейн. Снятый кронштейн изолируют микалентой в месте пробоя и компаундируют. Затем устанавливают кронштейн на место и закрепляют болтами, устанавливают дистанционные прокладки, прикрепляют бандажные кольца к кронштейну бандажами и повторно испытывают обмотку на пробой.

При пробое стержня на корпус после укладки стержней верхнего ряда отсоединяют фазную группу с дефектным стержнем и испытывают остальные фазовые группы уложенной обмотки. Затем срезают бандажи, удаляют дистанционные распорки и вынимают дефектный стержень. Осматривают паз и при обнаружении заусенцев удаляют их и продувают паз сжатым воздухом. Вкладывают и прикрепляют бандажами новый стержень и испытывают изоляцию фазной группы.

Если при испытании после укладки стержней верхнего ряда произошел пробой изоляции стержня нижнего ряда, то отмечают дефектный стержень и перекрывающие его по шагу верхние стержни. Осторожно срезают бандажи отмеченных верхних стержней. Вынимают отмеченные верхние стержни, маркируют их и укладывают по порядку. Проверив целость изоляции всех вынутых стержней путем внешнего осмотра, в зависимости от того, в каком состоянии изоляция стержней, их или повторно компаундируют или снова вкладывают в пазы после замены дефектного стержня и испытания его на пробой изоляции.

Если пробой стержня произошел при испытании обмотки после паяния и изолировки головок, то перед выполнением предыдущих операций необходимо выбить клинья из пазов, из которых надо вынимать стержни, снять изоляцию с головок и распаять соединения.

Пробой изоляции между соединительными шинами исправляют, распаивая места соединения, снимая пробитую шину и изолируя ее вновь. Шину компаундируют, устанавливают на место и пропаивают соединения.

Если пробой произошел между головками стержней, то снимают пробитую изоляцию и вновь изолируют головку, а затем испытывают ее на пробой.

Из приведенных примеров видно, как важно точно определить место пробоя изоляции. Это делают мегомметром до начала вскрытия изоляции. При ошибочном определении дефекта процесс исправления усложняется. Например, если при пробое изоляции между головками начать выемку стержней, то процесс

ремонта обмотки вместо простой замены изоляции дефектной головки превратится в сложный процесс, связанный с подъемом из пазов стержней.

§ 119. ИСПРАВЛЕНИЕ ОБМОТКИ РОТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Обмотка ротора турбогенератора является низковольтной и работает при напряжении не выше 300 *в*. Однако огромные центробежные силы, действующие на обмотку при вращении ротора, заставляют изолировать ее толстыми миканитовыми пазовыми коробками (см. рис. 142) и в процессе изготовления и укладки в пазы ротора испытывать на пробой высоким напряжением. Кроме того, роторная обмотка турбогенератора имеет сложную конструкцию токоподводов, поэтому при испытаниях в процессе укладки в пазы изоляция может быть пробита в разных местах. Приведем наиболее характерные случаи пробоя и способы исправления изоляции.

Если при испытании катушки ротора, еще не соединенной с другими (см. рис. 145), произошел пробой пазовой коробки, то осторожно вынимают катушку из пазов и поднимают на подвесное приспособление (см. рис. 144), не повреждая витковой изоляции. В зависимости от состояния витковой изоляции или восстанавливают повреждение или изолируют всю катушку заново. Обе пазовые коробки вынимают из пазов, после чего очищают пазы продуванием сжатым воздухом, а затем вновь укладывают катушку в пазы.

При испытании после горячей прессовки может произойти пробой изоляции катушки, соединенной со смежными катушками (см. рис. 145). Тогда распаивают верхнее соединение, вынимают из пазов катушку и обе коробки роторного паза, рихтуют, отжигают и вновь изолируют катушку, а затем вкладывают ее в пазы с новыми коробками. Для разъединения нижнего соединения перерубают нижний виток, а при укладке в пазы спаивают разрубленное соединение серебряным припоем.

Если при испытании после горячей прессовки обнаружено замыкание витков в лобовых частях, то определяют место замыкания, измеряя падение напряжения между витками милливольтметром, восстанавливают нарушенную изоляцию и вновь испытывают катушку на витковые замыкания. При необходимости временно распаивают верхнее соединение смежных катушек.

При испытании ротора после насадки бандажного кольца (см. рис. 148) может произойти пробой изоляции лобовой части обмотки на бандажное кольцо. Определив, на какой стороне ротора произошел пробой, снимают бандажное кольцо с лобовой части поврежденной обмотки и подбандажную изоляцию. Восстанавливают поврежденную изоляцию витка, заменяют повреж-

денный сегмент подбандажной изоляции, снова надевают бандажное кольцо и испытывают изоляцию.

При испытании ротора после насадки бандажного кольца может произойти пробой изоляции в пазовой части обмотки. Тогда снимают оба бандажных кольца и вынимают пробитую катушку. Восстанавливают изоляцию катушки, заменяют обе пазовые коробки, вновь укладывают катушку в пазы и запекают обмотку ротора; пооперационно испытывают обмотку после укладки катушки, после прессовки и запечки.

Если при испытании ротора после насадки бандажных колец испытательное напряжение снижается до нуля, а при внешнем осмотре место пробоя не обнаруживается, то отсоединяют обмотку ротора от токоподвода и испытывают раздельно сначала токоподвод и контактные кольца, а затем обмотку ротора до установления места пробоя. После этого исправляют ротор в зависимости от места повреждения изоляции.

После заклинивания пазов может произойти пробой изоляции под клином (см. рис. 142). Для исправления дефекта выбивают клин из паза, в котором пробита изоляция, проверяют сопротивление изоляции ротора при выбитом клине, проверяют путем внешнего осмотра отсутствие повреждений стенки коробки роторного паза в зоне загиба. Исправляют место пробоя, заменяя поврежденные прокладки новыми из турбороторного миканита, вновь заклинивают паз и испытывают обмотку.

§ 120. ИСПРАВЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Характер возможных неисправностей в обмотках якоря зависит от типа его обмотки. Наибольшее число различных неисправностей бывает в якорях с ручными обмотками. В них могут быть следующие неисправности: неправильное число витков в секциях, неправильное присоединение концов секций к пластинам коллектора, витковые замыкания в обмотке, замыкание обмотки на корпус, обрывы.

Ввиду того что якоря с ручными обмотками выпускают в больших количествах, контроль их по всем видам неисправностей практически невозможен. Поэтому ограничиваются испытанием прочности витковой и корпусной изоляции. Остальные неисправности выявляются в процессе проверки собранной машины на стенде. Бракованные якоря обычно не ремонтируют, а заменяют новыми. При станочной намотке исключаются такие неисправности, как неправильное число витков в секциях, но повышается возможность обрывов в обмотках из тонкого провода.

В катушечных всыпных обмотках редко встречаются неправильное число витков и обрывы, потому что катушки наматывают на станках и для этих обмоток применяют провода большего

диаметра, чем для ручных. Поэтому наиболее вероятными неисправностями являются витковые замыкания и перепутывание выводных концов, присоединяемых к пластинам коллектора. Для более легкого устранения неисправностей надо иметь пооперационный контроль якорей перед укладкой обмотки, после укладки нижнего слоя, после укладки верхнего слоя, после паяния обмотки с коллектором.

В этих стадиях производства катушки с замкнутыми витками вынимают из пазов и заменяют новыми, а неправильные соединения с коллектором устраняют перестановкой выводных концов. Для предупреждения этой неисправности следует применять обмоточные провода с разной расцветкой. Исправление всыпных обмоток после пропитки практически невозможно и такие якоря идут в перемотку. Пооперационный контроль дает возможность значительно снизить процент брака.

Якорные обмотки из жестких катушек с двойной головкой (см. рис. 34) не могут иметь обрывов и неправильных соединений с коллектором, так как при горизонтальном выходе проводов из паза перехлестывание их невозможно. Поэтому исправления якорей с такими обмотками заключается в устранении витковых замыканий и пробоя на корпус. Вынутые из пазов неисправные катушки могут быть дополнительно изолированы в местах пробоя или замыкания. Как и в статорных двухслойных обмотках для извлечения из пазов неисправной катушки надо поднять другие катушки по шагу обмотки. Контроль якоря после укладки обмотки надо делать до обрубки выступающих из петушков концов секций. В противном случае при замене катушек может не хватить длины концов для вкладывания в петушки и катушки пойдут в брак, хотя изоляция их исправна.

Витковые замыкания часто образуются вследствие замыкания между соседними пластинами коллектора. Поэтому после выемки из петушков верхнего слоя выводных концов следует снова проверить якорь на замыкания между пластинами коллектора. После бандажировки иногда наблюдается замыкание проводов проволочными бандажами из-за повреждения подбандажной изоляции. Замыкание исчезает, когда бандажи сняты. Для облегчения ремонта место неисправности должно быть точно установлено при контрольных испытаниях якоря.

В одновитковых неразрезных и разрезных обмотках при правильной разметке якоря под обмотку возможность возникновения неисправностей еще меньше, тем не менее пооперационный контроль необходим, так как позднее обнаружение неисправности приводит к большим затратам по ее устранению. В этих обмотках появляется еще одна возможная неисправность, которая связана с большими токами, протекающими по обмотке. Она заключается в плохих контактах паяных соединений между обмоткой и коллектором. Для надежной работы машины в эксплу-

атации качество контактов должно быть проверено чувствительными аппаратами. Этот недостаток устраняют дополнительной пайкой вручную.

§ 121. ПЕРЕСЧЕТЫ ОБМОТОК

Для асинхронных двигателей единой серии имеются готовые обмоточные данные, по которым их можно переделывать на другие параметры [3 и 6]. В этих книгах приведены обмоточные данные всех типов двигателей, схемы обмоток, их изоляция и другие справочные данные. Зная тип двигателя, можно найти технические данные для частичного и полного восстановления его обмоток или переделки данного двигателя на другие стандартные напряжения или скорости вращения.

Заводские обмоточные и технические данные, приведенные в литературе, имеют бо́льшую ценность, чем результаты упрощенных расчетов, так как они основаны на подробных расчетах и опыте испытания пробных образцов и эксплуатации двигателей в народном хозяйстве. В связи с этим необходимость в пересчетах значительно уменьшилась. Тем не менее еще встречаются случаи, когда приходится прибегать к упрощенным расчетам. Здесь приводятся основы теории этих расчетов с числовыми примерами. К таким пересчетам относятся:

переделка двигателя на другое напряжение;

переделка двигателя на другую скорость вращения;

перевод двигателя на другую частоту.

Простейшим способом переделки двигателя на другое напряжение является переключение обмотки статора. Например, двигатель с соединением фаз в треугольник, работающий от сети 220 *в*, может работать от сети 380 *в* после переключения обмотки статора в звезду. Аналогично можно переключить двигатель с питания от сети напряжением 380 *в* на напряжение 660 *в*. В «Справочнике молодого обмотчика электрических машин» в главе XX приведены все возможные переключения двигателей с одного напряжения на другое. Если же ни одно из переключений не подходит, то приходится перематывать статор двигателя. При перемотке должны быть выдержаны нормали на изоляцию обмотки как в отношении ее электрической прочности, так и нагревостойкости.

Э. д. с. в фазе обмотки статора выражается формулой

$$E = 0{,}95\,U = 4{,}44\,fk_o w\Phi \quad в, \tag{47}$$

где f — частота переменного тока, *гц*;

k_o — обмоточный коэффициент обмотки;

w — число последовательно соединенных витков фазы;
Φ — магнитный поток на полюс, *вб* *.

При перемотке на другое напряжение магнитный поток и частота остаются неизменными, что достигается изменением числа витков w пропорционально напряжению U. Следовательно,

$$w_н = w_с \frac{U_н}{U_с}, \tag{48}$$

где индекс «с» относится к обмотке до переделки (старой), а индекс «н» — к обмотке после перемотки (новой).

При перемотке на другое напряжение мощность двигателя сохраняется, поэтому ток I фазы изменится обратно пропорционально напряжению:

$$I_н = I_с \frac{U_с}{U_н}. \tag{49}$$

В соответствии с изменением тока должно быть изменено и сечение провода, чтобы плотность тока осталась прежней.

$$s_н = s_с \frac{U_с}{U_н}. \tag{50}$$

Однако эти требования нельзя выдержать точно, так как обмоточные провода изготовляют только стандартных размеров (табл. 8). При замене обмотки должен быть проверен коэффициент заполнения паза проводами по формуле (4).

Например, требуется перемотать на напряжение сети 500 *в* с соединением фаз в звезду электродвигатель единой серии А 52/4. Мощность двигателя 7 *квт*, напряжение 220/380 *в*, соединение фаз Δ/Y, ток 24,6/14,2 *а*, число полюсов $2p=4$. Провод ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,4 *мм*, $N_э=22$ эффективным проводам в пазу, катушки намотаны в $n=2$ параллельных провода, обмотка однослойная, пазов в статоре $z=36$, площадь паза 206 *мм*^{2}.

Фазное напряжение двигателя до перемотки было 220 *в* при обеих схемах соединения обмотки; после перемотки фазное напряжение будет 500 : 1,73 = 289 *в*.

Число витков в фазе до перемотки можно определить по формуле

$$w_с = \frac{N_э z}{2m}, \tag{51}$$

где m — число фаз.

$$w_с = \frac{22 \cdot 36}{2 \cdot 3} = 132.$$

* *вб* (вебер) — единица измерения магнитного потока в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 9867—61). 1 *вб* равен 10^8 *мкс*.

Таблица 8

Номинальные диаметры, сечения, веса и сопротивления 1 *км* обмоточной круглой меди

Диаметр *d*, *мм*	Сечение *s*, *мм*²	Вес 1 *км* *G*, *кг*	Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом*
0,15	0,01767	0,1571	974
0,16	0,0201	0,1788	856
0,17	0,0227	0,202	758
0,18	0,0255	0,226	674
0,19	0,0284	0,252	606
0,20	0,0314	0,279	548
0,21	0,0346	0,308	497
0,23	0,0415	0,369	415
0,25	0,0491	0,436	351
0,27	0,0573	0,509	300
0,29	0,0661	0,587	260
0,31	0,0755	0,671	228
0,33	0,0855	0,76	201
0,35	0,0962	0,855	178,8
0,38	0,1134	1,008	151,8
0,41	0,132	1,173	130,3
0,44	0,1521	1,352	113,2
0,47	0,1735	1,542	99,2
(0,49)*	0,1886	1,676	91,3
0,51	0,204	1,816	84,4
(0,53)	0,221	1,961	77,8
0,55	0,238	2,11	72,3

Продолжение табл. 8

Диаметр *d, мм*	Сечение *s, мм²*	Вес 1 *км G, кг*	Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом*
(0,57)	0,255	2,27	67,5
0,59	0,273	2,43	63
(0,62)	0,302	2,68	57
0,64	0,322	2,86	53,4
(0,67)	0,353	3,13	48,7
0,69	0,374	3,32	46
(0,72)	0,407	3,62	42,3
0,74	0,43	3,82	40
(0,77)	0,466	4,14	36,9
0,8	0,503	4,47	34,2
(0,83)	0,541	4,81	31,8
0,86	0,581	5,16	29,6
(0,9)	0,636	5,66	27
0,93	0,679	6,04	25,3
(0,96)	0,724	6,43	23,8
1	0,785	6,98	21,9
(1,04)	0,849	7,55	20,3
1,08	0,916	8,14	18,79
(1,12)	0,985	8,75	17,47
1,16	1,057	9,4	16,28
(1,2)	1,131	10,05	15,22
1,25	1,227	10,91	14,02
(1,3)	1,327	11,8	12,96

Продолжение табл. 8

Диаметр d, *мм*	Сечение s, *мм*^{2}	Вес 1 *км* G, *кг*	Сопротивление 1 *км* при 15° С, *ом*
1,35	1,431	12,73	12,01
(1,4)	1,539	13,69	11,18
1,45	1,651	14,68	10,41
(1,5)	1,767	15,71	9,74
1,56	1,911	16,99	9
(1,62)	2,06	18,32	8,36
1,68	2,22	19,71	7,75
(1,74)	2,38	21,1	7,23
1,81	2,57	22,9	6,7
(1,88)	2,78	24,7	6,19
1,95	2,99	26,5	5,76
(2,02)	3,2	28,5	5,38
2,1	3,46	30,8	4,97
2,26	4,01	35,7	4,29
2,44	4,68	41,6	3,68

* В скобках поставлены диаметры проводов, которые не рекомендуется применять.

Число витков в фазе после перемотки по формуле (48):

$$w_н = w_с \cdot \frac{U_н}{U_с} = 132 \cdot \frac{289}{220} = 174.$$

В такой же пропорции должно возрасти число эффективных проводов в пазу:

$$N_{э.\,н} = N_{э.\,с} \frac{U_н}{U_с}; \qquad (52)$$

$$N_{э.\,н} = 22 \cdot \frac{289}{220} = 29.$$

Ток в фазе после перемотки по формуле (49):

$$I_н = I_с \frac{U_с}{U_н} = 14{,}2 \cdot \frac{220}{289} = 10{,}8\ а.$$

В соответствии с этим сечение провода после перемотки по формуле (50) при сохранении прежнего числа параллельных проводов

$$s_н = s_с \frac{U_с}{U_н} = 1{,}539 \cdot \frac{220}{289} = 1{,}18\ мм^2.$$

(Сечение провода до перемотки берем из табл. 8).

Находим по табл. 8 ближайшее сечение 1,131 $мм^2$, которому соответствует диаметр провода $d = 1{,}2$ *мм*. Двусторонняя толщина изоляции этого провода равна 0,21 *мм*. Диаметр изолированного провода

$$d_{из} = 1{,}2 + 0{,}21 = 1{,}41\ мм.$$

Схема обмотки статора при перемотке останется прежней.

Чтобы заказать новый провод, измеряем длину l витка старой обмотки. Она оказывается равной 0,68 *м*. Всю длину L обмотки определим по формуле

$$L = lnmw_н; \qquad (53)$$

$$L = 0{,}68 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 174 = 710\ м.$$

По табл. 8 вес 1 *км* провода диаметром 1,2 *мм* составляет 10,05 *кг*, следовательно, вся обмотка весит $0{,}71 \cdot 10{,}05 = 7{,}1$ *кг*. Учитывают вес изоляции, вводя коэффициент 1,02, и заказывают 7,25 *кг* провода ПЭЛБО.

Сопротивление 1 *км* провода диаметром 1,2 *мм* составляет 15,22 *ом* (табл. 8). Сопротивление всего провода обмотки было бы $0{,}71 \cdot 15{,}22 = 10{,}8$ *ом*. Но обмотка выполнена в два параллельных провода, поэтому длина ее в два раза меньше, а сечение в два раза больше, т. е. сопротивление всей обмотки уменьшилось в четыре раза. Сопротивление одной фазы составляет одну треть от сопротивления всей обмотки. Следовательно, сопротивление фазы $\frac{10{,}8}{4 \cdot 3} = 0{,}9$ *ом*.

Осталось проверить коэффициент заполнения паза проводами, который по формуле (4) не должен превышать 0,75. Полезную площадь паза за вычетом площади пазовой гильзы и клина при однослойной обмотке можно приближенно определить, разделив общую площадь паза на 1,25. Таким образом,

$$F_п = 206 : 1{,}25 = 165\ мм^2.$$

Коэффициент заполнения паза после перемотки по формуле (4):

$$k = \frac{Nd^2_{из}}{F_п} = \frac{58 \cdot 1{,}41^2}{165} = 0{,}7;$$ что вполне допустимо.

Переделка двигателя на другую скорость вращения сложнее, чем переделка на другое напряжение, так как при этом меняется мощность двигателя, число полюсов, число пазов на полюс и фазу, число катушечных групп, шаг обмотки, число витков в фазе и сечение провода. Кроме того, при изменении числа полюсов изменяются полюсное деление и индукции в магнитной цепи, поэтому при пересчете надо знать размеры сердечника двигателя, приведенные на рис. 181.

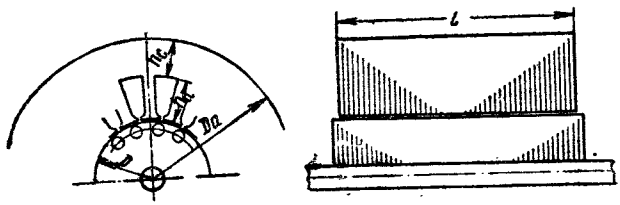


Рис. 181. Размеры сердечника асинхронного двигателя

При пересчете на меньшую скорость вращения уменьшается мощность двигателя, при пересчете же на бóльшую скорость вращения мощность двигателя растет, но зато увеличиваются индукции в магнитной цепи. Поэтому при пересчете на бóльшую скорость отношение скоростей должно быть не более 3 : 2. При необходимости большего увеличения скорости берут другой сердечник с меньшим внутренним диаметром статора. С повышением скорости вращения при сохранении наружного диаметра статора внутренний его диаметр уменьшается, что позволяет увеличить толщину спинки статора h_c. Таким образом, для одного и того же габарита в производстве имеются 2—3 штампа для листов статора и ротора.

Рассмотрим конкретный пример пересчета двигателя А 61/6 на большую скорость вращения. Мощность двигателя 7 *квт*, напряжение 220/380 *в*, соединение фаз △/Y, скорость вращения ротора 970 *об/мин*, синхронная скорость вращения 1000 *об/мин*. Число витков в фазе $w=216$, число параллельных проводов $n=2$, число пазов статора $z=36$, общая площадь паза 296 *мм*^{2}. Провод ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,2 *мм*, обмотка двухслойная, шаг по пазам 1—6. Размеры магнитной цепи: $D_a=327$ *мм*, $D=200$ *мм*, $l=75$ *мм*, $h_п=29$ *мм* (рис. 181). Требуется перемотать статор двигателя на синхронную скорость вращения

1500 *об/мин,* сохранив сердечник статора и короткозамкнутый ротор.

Согласно формуле (15) для повышения скорости вращения надо уменьшить число полюсов:

$$2p_н = 2p_с \frac{n_с}{n_н} = 6 \cdot \frac{1000}{1500} = 4.$$

Определим высоту спинки статора (рис. 181):

$$h_с = \frac{D_а - D}{2} - h_п = \frac{327-200}{2} - 29 = 34{,}5\ мм = 3{,}45\ см.$$

При уменьшении числа полюсов с сохранением общего магнитного потока поток на один полюс увеличится, а вместе с ним увеличатся и индукции в воздушном зазоре и в магнитной цепи двигателя. Из формулы (47) видно, что число витков в фазе обратно пропорционально магнитному потоку, т. е. увеличивая число витков, можно снизить величину потока. Зададимся наибольшей допускаемой индукцией в спинке статора $B = 1{,}15$ *тл* * и определим число витков в фазе по формуле (47):

$$w_н = \frac{0{,}95\,U}{4{,}44\,f k_0 \Phi} = \frac{0{,}95\,U}{4{,}44\,f k_0\, 2h_с l B}. \qquad (54)$$

Примем k_0 равным 0,95. Тогда

$$w_н = \frac{0{,}95 \cdot 220 \cdot 10^4}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 0{,}95 \cdot 2 \cdot 3{,}45 \cdot 7{,}5 \cdot 1{,}15} = 168.$$

Коэффициент 10^4 введен потому, что размеры магнитной цепи выражены в сантиметрах, а не в метрах.

Число эффективных проводов в пазу

$$N_э = \frac{6w_н}{z}; \qquad (55)$$

$$N_э = \frac{6 \cdot 168}{36} = 28.$$

Это число удовлетворяет требованию, чтобы в двухслойной обмотке число проводов в пазу было целое и четное. При двух параллельных проводах общее число проводов в пазу будет $28 \cdot 2 = 56$.

---

* *тл* (тесла) — единица измерения магнитной индукции в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 9867—61); $1\ тл = \frac{1\ вб}{1\ м^2} = 10\,000\ гс$.

Мощность двигателя после перемотки

$$P_н = P_с \frac{n_н}{n_с}; \qquad (56)$$

$$P_н = 7 \cdot \frac{1500}{1000} = 10{,}5 \text{ квт}.$$

Вследствие изменения энергетических показателей при переходе на другую скорость вращения ток двигателя возрастает в меньшей степени, чем мощность. Учитывая также, что при большей скорости вращения улучшаются условия охлаждения, выбираем сечение провода на 25% больше прежнего:

$$s_н = s_с\, 1{,}25 = 1{,}131 \cdot 1{,}25 = 1{,}41 \text{ мм}^2.$$

В табл. 8 этому сечению соответствует ближайший диаметр голого провода 1,35 *мм*. При изоляции марки ПЭЛБО диаметр изолированного провода будет 1,56 *мм*. Полезную площадь паза при двухслойной обмотке можно приближенно определить, разделив полную площадь паза на 1,3:

$$F_п = 296 : 1{,}3 = 228 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент заполнения паза по формуле (4):

$$k = \frac{Nd^2_{из}}{F_п} = \frac{56 \cdot 1{,}56^2}{228} = 0{,}61.$$

Теперь можно составить обмоточные данные для перемотанного двигателя. Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{z}{m2p} = \frac{36}{3 \cdot 4} = 3,$$

следовательно, для двухслойной обмотки придется намотать 12 катушечных групп по 3 катушки в группе. Диаметральный шаг обмотки

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{36}{4} = 9;$$

возьмем укорочение шага на два паза и получим укороченный шаг $y_z = 7$ (1—8).

Измеряем длину l витка новой обмотки по статору. (Получаем l, равное 0,56 *м*). Общая длина провода

$$L = lnmw_н = 0{,}56 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 168 = 565 \text{ м}.$$

По табл. 8 вес 1 *км* провода диаметром 1,35 *мм* составляет 12,73 *кг*. Следовательно, вес голого провода $12{,}73 \cdot 0{,}565 = 7{,}2$ *кг*, а с учетом веса изоляции — $7{,}2 \cdot 1{,}02 = 7{,}4$ *кг*.

Сопротивление 1 *км* провода 12,01 *ом* (табл. 8). Сопротивление фазы обмотки

$$\frac{0{,}565 \cdot 12{,}01}{4 \cdot 3} = 0{,}565 \text{ ом}.$$

При увеличении шага обмотки несколько удлинится вылет лобовых частей, поэтому надо проверить, уложатся ли лобовые части на статоре, не задевая подшипниковых щитов.

Перевод двигателя на другую частоту применяют в тех случаях, когда надо значительно увеличить его скорость вращения. Для этого двигатель питают переменным током повышенной частоты. Очевидно, что скорость вращения будет расти пропорционально частоте:

$$n_н = n_с \frac{f_н}{f_с}. \qquad (57)$$

Однако при этом надо сохранить прежнюю величину магнитного потока. Из формулы (47) видно, что частота тока и напряжение прямо пропорциональны, т. е. при повышении частоты для сохранения потока соответственно должно быть увеличено напряжение, подводимое к двигателю. При этом никаких перемоток не требуется. Переменный ток нестандартной частоты подают от специальных генераторов или преобразователей частоты.

ГЛАВА XIX

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

§ 122. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРУДА

Главная экономическая задача построения коммунизма в нашей стране состоит в том, чтобы построить материально-техническую базу коммунизма, т. е. создать материальные условия для производства в изобилии благ, обеспечивающих уровень жизни выше, чем в любой капиталистической стране.

В выполнении этой задачи решающая роль отводится социалистической промышленности. Объем промышленного производства должен значительно увеличиться.

Такое интенсивное развитие промышленности потребует крупных прогрессивных сдвигов в ее структуре. Особенно возрастет роль новых отраслей, обеспечивающих наибольший технический прогресс.

Основным источником увеличения промышленного производства является рост производительности труда.

В период развернутого строительства коммунизма повышается роль общественных организаций. Особенно возрастает роль профсоюзов как школы управления, школы хозяйствования, школы коммунизма. Возрастает роль комсомола как самодеятельной общественной организации молодежи, помогающей партии воспитывать молодежь в духе коммунизма, вовлекать ее в практическое строительство нового общества, готовить поколение всесторонне развитых людей, которые будут жить, работать и управлять общественными делами при коммунизме.

Электрификация, являющаяся стержнем строительства экономики коммунистического общества, играет ведущую роль в развитии всех отраслей народного хозяйства, в осуществлении всего современного технического прогресса. В результате сплош-

ной электрификации народного хозяйства электровооруженность одного рабочего в промышленности увеличится в несколько раз.

Прогресс техники характерен заменой ручного труда машичным. Этот процесс называется механизацией производства. В зависимости от степени замены ручного труда машинным различают частичную и комплексную (полную) механизацию. При частичной механизации технологический процесс еще не целиком выполняется машинами, хотя и в этом случае труд рабочих облегчается и растет производительность труда.

В электропромышленности и особенно в обмоточном производстве доля ручного труда еще очень велика. Все описанные в учебнике станки являются полуавтоматическими, т. е. требуется участие рабочего для установки и снятия изделия, регулировки и налаживания процесса. В машиностроительном производстве механизация начинается, как правило, на основных производственных операциях. А обмоточные конвейеры только передвигают статоры и роторы от одного рабочего места к другому, процесс же укладки обмоток в пазы выполняется вручную. Следовательно, руководителям производства и рабочим электромашиностроительных заводов еще многое надо сделать, чтобы выявить возможности для полной ликвидации ручного труда.

Однако комплексная механизация еще не является пределом. Высшим, качественно новым этапом развития механизации является автоматизация производственных процессов. Внедрение автоматов позволяет передать специальным устройствам не только функции обработки и передвижения деталей, но также контроль производственных процессов и управление ими. При комплексной автоматизации по всему циклу производственного процесса основные и вспомогательные операции и регулировка осуществляются машинами без непосредственного участия человека. Примером комплексной автоматизации являются автоматические станочные линии, представляющие собой систему машин основного и вспомогательного оборудования, изготовляющего продукцию в определенной технологической последовательности и с определенным ритмом. Производительность труда на автоматических поточных линиях увеличивается в десятки раз.

В отличие от капитализма при плановой социалистической системе хозяйства сочетается ускорение технического прогресса с полной занятостью всего трудоспособного населения. Автоматизация и комплексная механизация служат материальной основой для постепенного перерастания социалистического труда в труд коммунистический. При автоматизации коренным образом меняется характер труда, возникает необходимость повышения культурно-технического уровня рабочих, стирается грань между умственным и физическим трудом.

Основной движущей силой в области организации труда является социалистическое соревнование. Широко развернулось патриотическое движение за создание бригад, цехов и предприятий коммунистического труда. Большой вклад в развитие производства вносят изобретатели и рационализаторы производства.

§ 123. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА

Внедрение новой техники и сокращение продолжительности рабочего времени требуют более высокой организации труда, а следовательно, и более высокой ступени его нормирования. Нормирование труда есть процесс проектирования и практического создания на производстве таких организационных и технических условий, при которых данная работа будет выполняться более производительно.

Нормирование труда в условиях социалистического производства должно решать следующие задачи:

создавать основу для разделения труда между исполнителями работы;

служить средством повышения производительности труда;

давать исходные нормативы для определения меры труда и соответствующей ей меры оплаты;

обеспечивать сравнимость результатов работы отдельных исполнителей и распространение передовых приемов и методов труда.

Норма затрат рабочего времени может быть правильно установлена лишь при условии прогрессивного использования машин и механизмов, применения наиболее производительных технологических режимов работы и более эффективной организации труда. Только когда намеченные организационно-технические мероприятия осуществлены, в соответствии с ними устанавливают нормы затрат рабочего времени на выполнение данной работы. Установленные таким образом нормы называются технически обоснованными прогрессивными нормами.

Рабочее время состоит из времени работы и времени перерывов. В свою очередь время работы слагается из основного, вспомогательного, подготовительно-заключительного и времени обслуживания рабочего места. Основным называется время, в течение которого выполняется технологический процесс, вспомогательным — время, затрачиваемое на установку детали, пуск станка и т. п. Сумма основного и вспомогательного времени дает оперативное время.

Подготовительно-заключительным называется время, которое необходимо рабочему, чтобы подготовить себя и станок к выполнению заданной работы и ее завершению. Например, по-

лучение и сдача наряда, чертежа, получение и сдача инструмента и приспособлений, наладка оборудования.

Время, затрачиваемое на подналадку оборудования, смену резца или сметание стружки называется временем технического обслуживания; время, затрачиваемое на осмотр, опробование, смазку и обтирку оборудования, прием и передачу смены — временем организационного обслуживания. Сумма этих двух времен дает время обслуживания рабочего места.

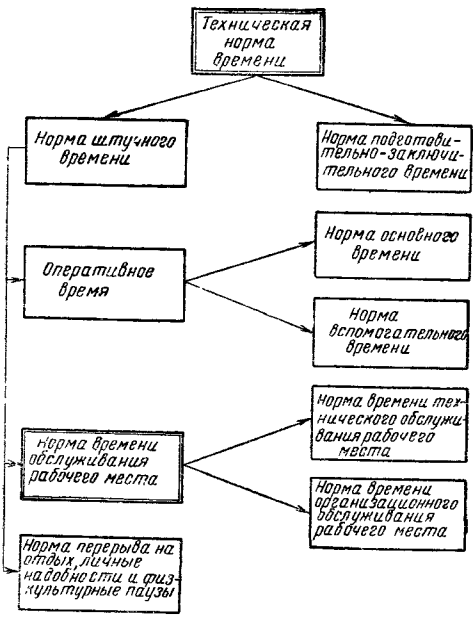


Рис. 182. Схема нормы времени

Время перерывов слагается из времени простоев из-за неполадок на производстве и перерывов, зависящих от рабочего. Перерывы бывают для отдыха, личных (естественных) надобностей, физкультурных пауз.

На рис. 182 показана схема нормы времени. К нормируемому времени относят основное, вспомогательное, подготовительно - заключительное, время обслуживания рабочего места, время на отдых, естественные надобности и физкультурные паузы.

Под нормой выработки понимают то количество продукции, которое должен произвести рабочий за определенное время. Она устанавливается в тех случаях, когда на рабочем месте выполняется одна или ограниченное число операций. Нормы выработки бывают часовые, дневные и месячные. Чтобы рассчитать норму выработки, необходимо продолжительность рабочего времени разделить на установленную для единицы продукции норму времени.

Например, на намотку катушки на намоточном станке установлена норма времени 6 мин. Часовая норма выработки будет $60 : 6 = 10$ шт.

В практике часто приходится определять процент выполнения нормы отдельными рабочими. Можно определить процент выполнения как норм времени, так и норм выработки.

При определении процента выполнения норм времени следует всю работу, выполненную одним рабочим или группой рабочих

и выраженную в нормо-часах, отнести к фактически отработанному времени в человеко-часах. Например, намотчик намотал за смену 80 катушек при норме времени 6 мин. на 1 катушку. Процент выполнения нормы

$$\frac{80 \cdot 6}{60 \cdot 7} \cdot 100 = 114\,\%.$$

При определении процента выполнения нормы выработки следует продукцию, выраженную в натуральных показателях, отнести к норме выработки. Например, для того же случая процент выполнения равен:

$$\frac{80}{10 \cdot 7} \cdot 100 = 114\,\%.$$

Целесообразность и величина расходования рабочего времени на производстве изучается методом хронометража и фотографирования рабочего дня.

Хронометраж — это процесс наблюдения и измерения продолжительности выполнения повторяющихся элементов работы. Он имеет большое практическое значение для нормирования труда, изучения, обобщения и распространения передового производственного опыта, выявления причин невыполнения норм отдельными рабочими и для решения других производственных задач. Результаты хронометража могут быть использованы при составлении специальных таблиц нормативов времени для нормирования труда.

Фотографирование рабочего дня — это другой метод изучения затрат рабочего времени на производстве. Он осуществляется путем наблюдения и измерения всех без исключения затрат времени на протяжении полного рабочего дня или только определенной его части. Результаты обработки и анализа большого числа наблюдений используются при определении нормативов для нормирования подготовительно-заключительного времени, времени обслуживания рабочего места и перерывов. Фотографирование рабочего дня может выполняться самим рабочим или нормировщиком.

Заработная плата представляет собой определенную сумму денег, которую государство выплачивает рабочему за выполненную им полезную для социалистического общества работу. В нашей стране каждый работник, независимо от пола, возраста и национальности, за равный по количеству и качеству труд получает одинаковую денежную заработную плату.

Организация оплаты труда включает в себя нормирование, устанавливающее меру труда, и тарифную систему, задача которой — оценивать труд с его качественной стороны. Основными элементами тарифной системы служат тарифные ставки, тарифные сетки и тарифно-квалификационные справочники.

Тарифные ставки содержат конкретный размер оплаты труда в единицу времени и поэтому могут быть часовыми, дневными, месячными. При помощи тарифных ставок устанавливается различие в оплате труда рабочих в зависимости от условий труда (обычный труд, тяжелый, особо тяжелый), от применяемой формы оплаты труда (сдельная, повременная), от значения отрасли промышленности в народном хозяйстве страны (тяжелая, легкая). Труд рабочих-сдельщиков как более интенсивный оплачивается примерно на 10—12% выше, чем труд рабочих повременщиков, а труд на работах с тяжелыми условиями оплачивается на 25—30% выше, чем на работах с нормальными условиями.

Тарифные сетки позволяют устанавливать различие в оплате труда рабочих в зависимости от уровня их квалификации и квалификационного уровня выполняемых ими работ. Тарифная сетка представляет собой совокупность действующих в данной отрасли производства тарифных разрядов и соответствующих каждому разряду тарифных коэффициентов.

Тарифный разряд, присвоенный рабочему, или разряд, к которому отнесена работа, характеризует уровень квалификации рабочего или квалификационный уровень данной работы. Чем выше тарифный разряд, тем более высокой квалификацией должен обладать рабочий.

Тарифный коэффициент, соответствующий определенному разряду, показывает, во сколько раз уровень оплаты работ данного разряда превышает уровень оплаты работ первого разряда. Тарифную ставку любого разряда можно определить, умножив тарифную ставку первого разряда на тарифный коэффициеит для данной отрасли производства.

В тарифно-квалификационных справочниках дается характеристика работ с указанием, что должен знать и уметь рабочий по каждому квалификационному разряду и профессии, а также приводятся примеры наиболее типичных работ, которые выполняются рабочим каждого разряда данной профессии. При помощи тарифно-квалификационных справочников осуществляется тарификация работ и рабочих.

При помощи форм и систем заработной платы устанавливается строго определенный порядок исчисления заработка рабочих в зависимости от количества и качества затраченного ими труда.

Если затраты труда измеряются отработанным временем, то применяется повременная форма оплаты труда. Повременная заработная плата подразделяется на простую и повременно-премиальную системы.

Если затраты труда измеряются количеством выработанной продукции или выполненной работы, то используют, как правило, сдельную форму оплаты труда. Сдельная заработная плата подразделяется на прямую сдельную, сдельно-премиальную, сдельно-прогрессивную и аккордную системы. Каждая из этих

систем может применяться и как индивидуальная (для оплаты одного рабочего), и как коллективная (для оплаты труда, например, бригады рабочих).

§ 124. ПЛАНИРОВАНИЕ И ХОЗРАСЧЕТ

Создание материально-технической базы коммунизма требует постоянного совершенствования хозяйственного руководства и планирования. Главное внимание во всех звеньях планирования и руководства хозяйством должно быть сосредоточено на наиболее рациональном и эффективном использовании материальных, трудовых и финансовых ресурсов, природных богатств и устранении излишних издержек и потерь. Годовые планы являются частью перспективных, составленных на более длительный период времени. Конкретный, научно обоснованный план построения коммунизма в нашей стране намечен в новой Программе партии, принятой XXII съездом КПСС.

Государственный план — это закон, поэтому все предприятия обязаны выполнять устанавливаемые для них государственные задания и обеспечить народное хозяйство нужной ему продукцией. Основой внутризаводского планирования является техпромфинплан, являющийся частью народнохозяйственного плана. Техпромфинпланом предприятия называется развернутая программа производственной, организационной, технической и хозяйственной деятельности предприятия.

План составляется на основе полученных от отраслевого управления контрольных цифр на годовой период времени с разделением по кварталам и обеспечивает безусловное выполнение государственного задания по выпуску продукции и прочим заданным технико-экономическим показателям. Для этого должны быть целесообразно использованы все имеющиеся у предприятия возможности. Основными показателями техпромфинплана являются выпуск продукции в натуральном и ценностном выражении, освоение новых видов продукции, рост производительности труда, снижение себестоимости продукции, объем капитальных вложений.

Важнейшим показателем работы предприятия является себестоимость продукции. Себестоимость — это выраженная в денежной форме часть стоимости промышленной продукции, которая включает в себя затраты на использованное в процессе работы сырье, основные и вспомогательные материалы, пар, воду, топливо и электроэнергию, определенные накопления средств на ремонт и восстановление машин, станков и другой техники, затраты на выплату рабочим, инженерно-техническим работникам и служащим заработной платы и некоторые другие затраты. Себесто-

имость дает возможность предприятию учесть, во что обходится ему производство продукции.

Снижение себестоимости — один из показателей экономии затрат сырья, материалов и труда. Чем ниже себестоимость всей продукции в народном хозяйстве, тем больше средств сможет направить государство на дальнейшее расширение производства и на повышение народного благосостояния.

Важнейшим средством осуществления режима экономии служит хозяйственный расчет, который является методом планового ведения хозяйства социалистических предприятий и организаций. Хозяйственный расчет требует выполнения государственных заданий при наиболее экономном использовании средств. На хозяйственном расчете находятся все предприятия промышленности. Он способствует снижению себестоимости продукции и вместе с тем обеспечивает соблюдение принципа личной материальной заинтересованности работников в результатах своего труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барембо К. Н., Бернштейн Л. М. Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1961.
2. Зимнн В. И., Каплан М. Я. н др. Обмотки электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1954.
3. Кокорев А. С., Наумов И. Н. Справочник молодого обмотчика электрических машин. М., изд.-во «Высшая школа», 1964.
4. Лившиц-Гарик М. Обмотки машин переменного тока (перевод с английского). М., Госэнергоиздат, 1958.
5. Лопухина Е. М., Сомихина Г. С. Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока. М., Госэнергоиздат, 1961.
6. Рубо Л. Г. Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 *квт*. М., Госэнергоиздат, 1961.
7. Харитонов А. М. Многоскоростные электродвигатели. М., Госэнергоиздат, 1954.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3

Глава I. ТЕХНОЛОГИЯ СЛЕСАРНОЙ ОБРАБОТКИ

§ 1. Слесарные работы в электромашиностроении 6
§ 2. Оснащение рабочего места слесаря 7
§ 3. Организация труда на рабочем месте 9
§ 4. Понятие о технологическом процессе 11
§ 5. Технологическая подготовка производства 12
§ 6. Технологические базы и припуски 15
§ 7. Разметка 17
§ 8. Правка 19
§ 9. Рубка 20
§ 10. Гибка 22
§ 11. Резание 25
§ 12. Опиливание 28
§ 13. Клепка 30

Глава II. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

§ 14. Задачи техники безопасности 32
§ 15. Техника безопасности в обмоточных цехах 33
§ 16. Первая помощь пострадавшим от электрического тока 35

Глава III. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК

§ 17. Основные виды обмоток 37
§ 18. Витковая и корпусная изоляция 38
§ 19. Резание изоляционных материалов 40
§ 20. Изолировка пазов 46

Глава IV. КАТУШКИ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

§ 21. Мягкие катушки статора 50
§ 22. Мягкие катушки якоря 55

Глава V. КАТУШКИ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

§ 23. Жесткие катушки статора 61
§ 24. Жесткие катушки ротора 70
§ 25. Жесткие катушки якоря 72

Стр.

Глава VI. СТЕРЖНИ ОБМОТОК

§ 26. Стержни обмотки статора 75
§ 27. Стержни обмотки ротора 81
§ 28. Стержни обмотки якоря 85

Глава VII. ПОЛЮСНЫЕ КАТУШКИ

§ 29. Типы полюсных катушек 89
§ 30. Катушки из изолированных проводов 90
§ 31. Шинные катушки, намотанные плашмя 94
§ 32. Шинные катушки, намотанные на ребро 98

Глава VIII. ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ ОБМОТОК

§ 33. Общие сведения о чертежах 103
§ 34. Чертежи обмоток 106
§ 35. Схемы обмоток 114

Глава IX. ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРА И РОТОРА

§ 36. Типы однослойных обмоток 119
§ 37. Схемы концентрических трехфазных обмоток 120
§ 38. Соединение катушечных групп в фазах 124
§ 39. Составление схем концентрических обмоток 127
§ 40. Схемы равнокатушечных однослойных трехфазных обмоток . . 128
§ 41. Укладка в пазы концентрических обмоток 132
§ 42. Однослойные обмотки однофазных двигателей 134
§ 43. Обмоточные станки для статоров 137

Глава X. ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРА

§ 44. Типы двухслойных обмоток 142
§ 45. Диаметральный и укороченный шаг обмотки 143
§ 46. Схемы двухслойных трехфазных обмоток 144
§ 47. Составление схем двухслойных трехфазных обмоток 148
§ 48. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу 150
§ 49. Упрощенные схемы соединений и таблицы обмоток 155
§ 50. Схемы обмоток многоскоростных двигателей 159
§ 51. Двухслойные обмотки однофазных двигателей 164
§ 52. Укладка в пазы всыпных обмоток 165
§ 53. Укладка обмоток статора в открытые пазы 167

Глава XI. СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

§ 54. Элементы стержневой обмотки 171
§ 55. Расположение перемычек и выводов фаз 174
§ 56. Обмотки с удлиненными и укороченными переходами 177
§ 57. Конструкции перемычек 179
§ 58. Обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу 180
§ 59. Роторные обмотки с параллельными нетями 182
§ 60. Обмоточные таблицы 183
§ 61. Торцовые схемы обмоток ротора 184
§ 62. Гибка стержней на роторе 188
§ 63. Соединение стержней 190
§ 64. Короткозамкнутые обмотки ротора 190

Стр.

Глава XII. ОБМОТКИ ЯКОРЯ

§ 65. Основные сведения 194
§ 66. Простая петлевая обмотка 196
§ 67. Сложно-петлевая обмотка 197
§ 68. Простая волновая обмотка 199
§ 69. Таблицы якорных обмоток 202
§ 70. Волновые обмотки с «мертвыми» секциями 204
§ 71. Сложно-волновая обмотка 206
§ 72. Уравнительные соединения 207
§ 73. Ступенчатые обмотки 211
§ 74. «Лягушечьи» обмотки 214
§ 75. Симметрия обмоток 217
§ 76. Разметка якоря под обмотку 218
§ 77. Устройство коллекторов 220
§ 78. Укладка обмоток в пазы 226
§ 79. Ручные обмотки якоря 229
§ 80. Обмоточные станки для якорей 231
§ 81. Новые виды обмоток якоря 235

Глава XIII. ОБМОТКИ ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

§ 82. Конструкции турбо- и гидрогенераторов 238
§ 83. Обмотки статоров турбогенераторов 241
§ 84. Обмотки статоров гидрогенераторов 246
§ 85. Обмотки роторов турбо- и гидрогенераторов 248

Глава XIV. ПАЯНИЕ И СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

§ 86. Припои мягкие и твердые 258
§ 87. Флюсы 259
§ 88. Паяльники 260
§ 89. Паяние коллекторов мягкими припоями 264
§ 90. Паяние твердыми припоями 265
§ 91. Сварка соединений в обмотках 267
§ 92. Лужение 268

Глава XV. ПРОПИТКА ОБМОТОК

§ 93. Назначение пропитки 270
§ 94. Процессы сушки, пропитки и лакировки 271
§ 95. Оборудование для пропитки и сушки 274
§ 96. Компаундирование обмоток 278
§ 97. Противопожарные мероприятия в сушильно-пропиточных цехах . 280

Глава XVI. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

§ 98. Назначение бандажей и пазовых клиньев 281
§ 99. Бандажировочные станки 282
§ 100. Намотка проволочных бандажей 284
§ 101. Расчет бандажей 287
§ 102. Бандажи из стеклоленты 288
§ 103. Крепление обмоток в пазах клиньями 290

Стр.

Глава XVII. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

§ 104. Виды контроля и испытаний 295
§ 105. Контроль размеров обмоток 296
§ 106. Измерение сопротивления обмотки 297
§ 107. Измерение сопротивления изоляции 299
§ 108. Контрольные аппараты СМ 300
§ 109. Контроль обмоток машин переменного тока 303
§ 110. Контроль обмоток якорей 305
§ 111. Контроль полюсных катушек 307
§ 112. Испытание электрической прочности витковой изоляции 308
§ 113. Испытание электрической прочности корпусной изоляции 310
§ 114. Проверка качества паяния ультразвуком 311

Глава XVIII. ИСПРАВЛЕНИЕ И ПЕРЕСЧЕТЫ ОБМОТОК

§ 115. Серии электрических машин 313
§ 116. Исправление всыпных обмоток статора 315
§ 117. Исправление жестких катушечных обмоток статора 315
§ 118. Исправление стержневых обмоток статора 316
§ 119. Исправление обмотки ротора турбогенератора 318
§ 120. Исправление обмоток якоря 319
§ 121. Пересчеты обмоток 321

Глава XIX. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

§ 122. Организация производства и труда 331
§ 123. Техническое нормирование и заработная плата 333
§ 124. Планирование и хозрасчет 337
Литература 339

Виноградов Николай Владимирович

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Учебник для профессионально-технических училищ и для индивидуально-бригадного обучения рабочих на производстве. 6-е издание, переработанное и дополненное. М., «Высшая школа», 1965.
343 стр. с илл. *6П2.12*

Научный редактор *В. Б. Атабеков*

Редактор *М. В. Кобринская*

Художник *А. И. Шавард*

Технический редактор *Э. М. Чижевский*

Корректор *Н. С. Логунова*

Т-03916 Сдано в набор 3/X 1964 г. Подп. к печати 25/III 1965 г.
Формат $60\times90^{1}/_{16}$ Объем 21,5 печ. л. Уч.-изд. л. 19,44
Изд. № 6561 Тираж 28 000 экз. Цена 64 коп.

Москва, И-51, Неглинная ул., 29/14.
Издательство «Высшая школа»

Сводный тематический план 1965 г.
учебников для профтехобразования. Позиция № 84

Московская типография № 8 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати,
Хохловский пер., 7. Зак. 1700